

Humboldt-Universität zu Berlin

Dissertation

# **Gesundheitsmonitoring in Milchviehherden mit Hilfe von Infrarot-Thermographie**

zur Erlangung des akademischen Grades

doctor rerum agriculturalarum

(Dr. rer. agr.)

Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät

Ulrike Passarge

Dekan: Prof. Dr. Dr. h.c. Frank Ellmer

Gutachter/in: 1. Prof. Dr. Dr. h.c. Otto Kaufmann

2. Prof. Dr. Eberhard von Borell

3. Prof. Dr. Steffi Geidel

Datum der Einreichung: 29.06.2012

Datum der Promotion: 08.02.2013

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abkürzungsverzeichnis .....	III
Abbildungsverzeichnis .....	IV
Tabellenverzeichnis.....	VI
1 Einleitung.....	1
2 Literatur.....	3
2.1 Wärmehaushalt und Thermoregulation des Rindes.....	3
2.2 Einflüsse auf die Körpertemperatur des Rindes .....	8
2.2.1 Fieber.....	8
2.2.2 Umgebungstemperatur .....	10
2.2.3 Tageszeit.....	12
2.2.4 Physiologischer Status.....	15
2.3 IR-Thermographie bei Rindern .....	17
2.3.1 Grundlagen .....	17
2.3.2 Überblick.....	18
2.3.3 Erkennung von Gesundheitsstörungen mit Hilfe von IR-Thermographie .....	20
2.3.4 Einflüsse auf IR-Thermographie .....	28
2.4 Automatische Gesundheitsüberwachung bei Milchkühen .....	33
3 Ergebnisse .....	37
3.1 Oberflächentemperatur .....	37
3.1.1 Versuchsbetriebe .....	37
3.1.2 Versuchsanordnung.....	38
3.1.3 Bildauswertung.....	41
3.1.4 Messreihen .....	44
3.1.5 Oberflächentemperaturen an verschiedenen Körperregionen .....	45
3.2 Untersuchungsschwerpunkte .....	52
3.3 Abhängigkeit der Oberflächentemperatur von Einflussfaktoren.....	52
3.3.1 Umgebungsfaktoren .....	53
3.3.2 Verschmutzung der Tiere .....	60
3.3.3 Tageszeit.....	64
3.3.4 Alter, Laktationsstadium, Milchleistung.....	67
3.4 Gesundheitsmonitoring Eutergesundheit.....	77
3.4.1 Viertelspezifische elektrische Leitfähigkeit .....	77
3.4.2 Somatische Zellzahl .....	81
3.4.3 Zytobakteriologische Untersuchung von Viertelgemelksproben .....	86
3.5 Gesundheitsmonitoring Klauengesundheit.....	92
3.5.1 Locomotionscore .....	92
3.5.2 Befundung der Klauen .....	94
3.6 Gesundheitsmonitoring Allgemeinzustand (Fieber).....	101
3.6.1 Material und Methoden .....	101
3.6.2 Ergebnisse .....	102
3.7 Identifizierung erkrankter Tiere anhand der Oberflächentemperatur.....	106
3.7.1 Material und Methoden .....	106
3.7.2 Ergebnisse .....	107
4 Diskussion.....	116
4.1 Oberflächentemperatur an verschiedenen Körperregionen .....	116
4.2 Abhängigkeit der Oberflächentemperatur von Einflussfaktoren.....	119

4.2.1	Umgebungsfaktoren .....	119
4.2.2	Verschmutzung der Tiere .....	121
4.2.3	Tageszeit.....	122
4.2.4	Alter, Laktationsstadium, Milchleistung.....	124
4.3	Gesundheitsmonitoring Eutergesundheit.....	126
4.3.1	Viertelspezifische elektrische Leitfähigkeit .....	126
4.3.2	Somatische Zellzahl .....	126
4.3.3	Zytobakteriologische Untersuchung von Viertelgemelksproben .....	127
4.4	Gesundheitsmontoring Klauengesundheit.....	129
4.4.1	Locomotionscore .....	129
4.4.2	Befundung der Klauen .....	130
4.5	Gesundheitsmonitoring Allgemeinzustand (Fieber).....	132
4.6	Identifizierung erkrankter Tiere anhand der Oberflächentemperatur.....	134
5	Abschließende Betrachtung .....	136
6	Zusammenfassung.....	137
7	Summary .....	139
8	Literaturverzeichnis .....	141
	Danksagung.....	149
	Anhang .....	150

## Abkürzungsverzeichnis

a.p.	ante partum
CMT	California Mastitis Test
E. coli	Escherichia coli
HL	hinten links
HR	hinten rechts
IR	Infrarot
IR-TempMax	Infrarot-Temperatur-Maximum
IR-TempMax2	Infrarot-Temperatur-Maximum98%
IR-TempMax5	Infrarot-Temperatur-Maximum95%
IR-TempMW	Infrarot-Temperatur-Mittelwert
IR-TempMax_korr	um die Umgebungstemperatur korrigierte Infrarot-Temperatur-Maximum
IR-TempMax2_korr	um die Umgebungstemperatur korrigierte Infrarot-Temperatur-Maximum98%
IR-TempMax5_korr	um die Umgebungstemperatur korrigierte Infrarot-Temperatur-Maximum95%
IR-TempMW_korr	um die Umgebungstemperatur korrigierte Infrarot-Temperatur-Mittelwert
LSM	Least Square Means
Max	Maximum
Min	Minimum
MLP	Milchleistungsprüfung
MW	Mittelwert
p.p.	post partum
SCC	Somatic Cell Count
SCS	Somatic Cell Score
SD	Standardabweichung
SE	Standardfehler
VL	vorn links
VR	vorn rechts

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wärmeabgabe des Rindes .....	4
Abbildung 2: Relativer Anteil des Hechelns und Schwitzens an der Verdunstungswärmeabgabe verschiedener Tierarten.....	6
Abbildung 3: Physiologische Veränderung bei Fieberanstieg und Fieberabfall.....	9
Abbildung 4: Hauttemperaturen des Rindes bei verschiedenen Umgebungstemperaturen .....	10
Abbildung 5: Arten des charakteristischen Temperaturverlaufes der Körpertemperatur von Milchkühen.....	13
Abbildung 6: Körpertemperaturverlauf über einen Tag.....	13
Abbildung 7: Mittlere Körpertemperatur von Kälbern von der Geburt bis zum 60. Lebenstag .....	14
Abbildung 8: Mittlere Vaginaltemperatur im Brunstzyklus der Kuh .....	16
Abbildung 9: Mittlere Vaginaltemperatur 10 a.p. bis 9 Tage p.p. ....	16
Abbildung 10: Elektromagnetisches Spektrum.....	17
Abbildung 11: Reaktion der Parameter Rektaltemperatur, maximaler und durchschnittlicher Oberflächentemperatur am Euter .....	22
Abbildung 12: Zusammenhang zwischen California-Mastitis-Test und Oberflächentemperatur der Eutervierviertel.....	23
Abbildung 13: Temperaturprofil einer Kuh bei verschiedenen Umgebungstemperaturen .....	29
Abbildung 14: Anordnung zur Messung der Oberflächentemperatur in Betrieb 1 und 3 .....	38
Abbildung 15: Hinteransicht der Kuh im IR-Bild.....	38
Abbildung 16: IR-Kamera Pyroview 640L compact und Referenzstrahler am Melkstand .....	40
Abbildung 17: IR-Bild mit eingezeichneten interessanten Körperregionen .....	42
Abbildung 18: Darstellung der IR-Kenngrößen anhand des Temperaturhistogramms einer Körperregion .....	46
Abbildung 19: Darstellung der IR-Kenngrößen anhand des kumulierten Temperaturhistogramms einer Körperregion.....	46
Abbildung 20: Platzierung des Klimamessgerätes und des Ultraschallanemometers am Melkkarussell .....	53
Abbildung 21: Verschmutzungsnoten an Euter und Klauen .....	61
Abbildung 22: Mittelwerte IR-TempMax_korr an Euter und Klauen der Messreihe 1 in Abhängigkeit von der Verschmutzung.....	63
Abbildung 23: Mittelwerte Rektaltemperatur der Messreihe 1 in Abhängigkeit von der Tageszeit.....	65
Abbildung 24: Mittelwerte IR-TempMax_korr an Eutern, Schenkelfläche und Klauen in Abhängigkeit von der Tageszeit.....	66
Abbildung 25: Abhängigkeit IR-TempMax_korr an den Eutern von der Laktationsnummer.....	69
Abbildung 26: Abhängigkeit IR-TempMax_korr an der Schenkelfläche von der Laktationsnummer.....	70
Abbildung 27: Abhängigkeit IR-TempMax_korr an den Klauen von der Laktationsnummer.....	71
Abbildung 28: Abhängigkeit IR-TempMax_korr an den Eutern vom Laktationstag .....	71
Abbildung 29: Abhängigkeit IR-TempMax_korr an der Schenkelfläche vom Laktationstag .....	72
Abbildung 30: Abhängigkeit der IR-Kenngröße IR-TempMax_korr an den Klauen vom Laktationstag .....	73
Abbildung 31: Abhängigkeit IR-TempMax_korr an den Eutern von der Milchleistung.....	74
Abbildung 32: Abhängigkeit IR-TempMax_korr an der Schenkelfläche von der Milchleistung .....	75
Abbildung 33: Abhängigkeit IR-TempMax_korr an den Klauen von der Milchleistung.....	76
Abbildung 34: Mastitissensor SMS 4010 der Firma IFU Diagnostic Systems GmbH.....	77

Abbildung 35: IR-Kenngröße IR-TempMax_korr der Messreihe 1 in Abhängigkeit von der elektrischen Leitfähigkeit .....	80
Abbildung 36: IR-Kenngröße IR-TempMax_korr der Messreihe 3 in Abhängigkeit von der elektrischen Leitfähigkeit .....	80
Abbildung 37: IR-Kenngröße IR-TempMax_korr der Messreihe 5 in Abhängigkeit von der elektrischen Leitfähigkeit .....	80
Abbildung 38: Zellzahlmessgerät DCC mit dazugehöriger Untersuchungskassette der Firma DeLaval .....	81
Abbildung 39: Parallelmessung der Zellzahl in DCC und Milchleistungsprüfung .....	82
Abbildung 40: IR-Kenngröße IR-TempMax_korr an den Eutern der Messreihe 1 in Abhängigkeit vom Somatic Cell Score .....	85
Abbildung 41: IR-Kenngröße IR-TempMax_korr an den Eutern der Messreihe 5 in Abhängigkeit vom Somatic Cell Score .....	85
Abbildung 42: Mittelwerte IR-TempMax_korr in Abhängigkeit vom Ergebnis der zytobakteriologischen Untersuchung .....	89
Abbildung 43: LSMeans (LSM) der gesunden und kranken Euterviertel anhand IR-TempMax2 der Messreihe 1 nach unterschiedlichen Umgebungstemperaturen .....	91
Abbildung 44: LSMeans (LSM) der gesunden und kranken Euterviertel anhand IR-TempMax2 der Messreihe 5 nach unterschiedlichen Umgebungstemperaturen .....	91
Abbildung 45: Mittelwerte IR-TempMax_korr an den Klauen der Messreihe 6 in Abhängigkeit vom Locomotionscore .....	94
Abbildung 46: Mittelwerte IR-TempMax an den Klauen der Messreihe 2 in Abhängigkeit vom Befund .....	98
Abbildung 47: Mittelwerte IR-TempMax an den Klauen der Messreihe 4 in Abhängigkeit vom Befund .....	99
Abbildung 48: LSMeans (LSM) der gesunden und neuerkrankten Klauen anhand der Kenngröße IR-TempMax5 der Messreihe 6 nach unterschiedlichen Umgebungstemperaturen .....	100
Abbildung 49: IR-TempMax_korr an der Schenkelfläche der Messreihe 1 in Abhängigkeit von der Rektaltemperatur .....	104
Abbildung 50: IR-TempMax_korr an der Schenkelfläche der Messreihe 3 in Abhängigkeit von der Rektaltemperatur .....	104
Abbildung 51: IR-TempMax_korr an der Schenkelfläche der Messreihe 5 in Abhängigkeit von der Rektaltemperatur .....	104
Abbildung 52: Mittelwerte der IR-Kenngröße IR-TempMax_korr an der Schenkelfläche in Abhängigkeit von der Rektaltemperatur .....	105
Abbildung 53: Validitätsmaße Sensitivität und Spezifität des diagnostischen Tests .....	106
Abbildung 54: Boxplot IR-TempMax_korr an den Eutern der Messreihe 5 in Abhängigkeit vom Ergebnis der zytobakteriologischen Untersuchung .....	107
Abbildung 55: Boxplot IR-TempMax_korr an den Klauen der Messreihe 5 in Abhängigkeit vom Locomotionscore .....	107
Abbildung 56: Boxplot IR-TempMax_korr an der Schenkelfläche der Messreihe 5 in Abhängigkeit von der Rektaltemperatur .....	108
Abbildung 57: Verlauf IR-TempMax_korr an der Schenkelfläche von zwei Kühen über den Versuchsverlauf .....	108

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Korrelationen zwischen täglich gemittelter Vaginaltemperatur und Umgebungsfaktoren .....	11
Tabelle 2: Bereiche der physiologischen Körpertemperatur von Rindern verschiedenen Alters .....	15
Tabelle 3: Vaginaltemperaturen von Milchkühen.....	16
Tabelle 4: Studien zum Einsatz der IR-Thermographie bei Rindern .....	19
Tabelle 5: Verwendete Messflächen verschiedener Untersuchungen.....	24
Tabelle 6: Erkennung von Mastitis bzw. abnormaler Milch in Automatischen Melksystemen (Stand: 2004).....	34
Tabelle 7: Erkennung von Mastitis bzw. abnormaler Milch in Automatischen Melksystemen (Stand: 2011).....	35
Tabelle 8: Charakteristik der Versuchsbetriebe .....	38
Tabelle 9: Übersicht der Messreihen hinsichtlich IR-Kenngrößen .....	44
Tabelle 10: IR-Kenngröße IR-TempMW am Euter .....	46
Tabelle 11: IR-Kenngröße IR-TempMax am Euter .....	47
Tabelle 12: IR-Kenngröße IR-TempMax2 am Euter .....	47
Tabelle 13: IR-Kenngröße IR-TempMax5 am Euter .....	48
Tabelle 14: IR-Kenngröße IR-TempMW an der Schenkelfläche .....	48
Tabelle 15: IR-Kenngröße IR-TempMax an der Schenkelfläche .....	49
Tabelle 16: IR-Kenngröße IR-TempMax2 an der Schenkelfläche .....	49
Tabelle 17: IR-Kenngröße IR-TempMax5 an der Schenkelfläche .....	49
Tabelle 18: IR-Kenngröße IR-TempMW an den Klauen.....	50
Tabelle 19: IR-Kenngröße IR-TempMax an den Klauen.....	50
Tabelle 20: IR-Kenngröße IR-TempMax2 an den Klauen.....	51
Tabelle 21: IR-Kenngröße IR-TempMax5 an den Klauen.....	51
Tabelle 22: Übersicht der Messreihen hinsichtlich Umgebungsfaktoren .....	53
Tabelle 23: Gemessene Umgebungstemperatur .....	54
Tabelle 24: Gemessene relative Luftfeuchte .....	54
Tabelle 25: Gemessene Luftgeschwindigkeit .....	55
Tabelle 26: Zusammenhang zwischen Oberflächentemperatur der Euter und Umgebungsfaktoren .....	57
Tabelle 27: Zusammenhang zwischen Oberflächentemperatur der Schenkelfläche und Umgebungsfaktoren .....	57
Tabelle 28: Zusammenhang zwischen Oberflächentemperatur der Klauen und Umgebungsfaktoren .....	58
Tabelle 29: Absolute und relative Häufigkeit der Verschmutzungsnoten der Körperregion Euter und Klauen.....	62
Tabelle 30: IR-Kenngrößen an den Klauen der Messreihe 1 in Abhängigkeit von der Klauenfeuchte.....	63
Tabelle 31: Prüfung der Mittelwertdifferenzen der Rektaltemperatur in Abhängigkeit von der Tageszeit auf Signifikanz.....	65
Tabelle 32: Charakteristik der untersuchten Tiere .....	68
Tabelle 33: Übersicht der Messreihen hinsichtlich viertelspezifischer elektrischer Leitfähigkeit .....	78
Tabelle 34: Gemessene elektrische Leitfähigkeit.....	78
Tabelle 35: Zusammenhang zwischen Oberflächentemperatur an den Eutern und elektrischer Leitfähigkeit .....	79

Tabelle 36: Übersicht der Messreihen hinsichtlich somatischer Zellzahl.....	82
Tabelle 37: Gemessene somatische Zellzahl.....	83
Tabelle 38: Zusammenhang zwischen Oberflächentemperatur an den Eutern und Somatic Cell Score aus Gesamtgemelk .....	84
Tabelle 39: Zusammenhang zwischen Oberflächentemperatur an den Eutern und Somatic Cell Score aus Viertelanfangsgemelk .....	85
Tabelle 40: Übersicht der Messreihen hinsichtlich zytobakteriologischer Untersuchung .....	86
Tabelle 41: Beurteilung zytobakteriologischen Untersuchungsbefunde nach DVG .....	87
Tabelle 42: Ergebnis der zytobakteriologischen Untersuchung.....	88
Tabelle 43: LSMeans und deren Differenzen (mit p-value) für IR-Kenngrößen an den Eutern .....	90
Tabelle 44: Noten des Lahmheitsscore .....	92
Tabelle 45: Absolute und relative Häufigkeit der Locomotionscorenoten .....	93
Tabelle 46: Diagnoseschlüssel Klauenerkrankungen.....	95
Tabelle 47: Übersicht der Messreihen hinsichtlich Klauenbefunde.....	95
Tabelle 48: Absolute und relative Häufigkeit der Ergebnisse der Befunde an den einzelnen Klauen .....	97
Tabelle 49: Absolute Häufigkeit verschiedener Erkrankungen an den einzelnen Klauen in alphabetischer Ordnung.....	97
Tabelle 50: Irrtumswahrscheinlichkeiten des t-Test der Messreihe 2 von verschiedenen Klauenbefunden gegenüber Klauen ohne Befund.....	98
Tabelle 51: Irrtumswahrscheinlichkeiten des t-Test der Messreihe 4 von verschiedenen Klauenbefunden gegenüber Klauen ohne Befund.....	99
Tabelle 52: Gemessene Rektaltemperatur .....	102
Tabelle 53: Zusammenhang zwischen Oberflächentemperatur an der Schenkelfläche und der Rektaltemperatur .....	103
Tabelle 54: Irrtumswahrscheinlichkeiten des t-Test in Bezug auf die Oberflächentemperatur an der Schenkelfläche und die Rektaltemperatur (Gruppe 0 vs. Gruppe 1).....	105
Tabelle 55: Diagnostischer Test an den Eutern.....	111
Tabelle 56: Diagnostischer Test an den Klauen.....	113
Tabelle 57: Diagnostischer Test an der Schenkelfläche (Fieber).....	115



## **1 Einleitung**

In den letzten Jahren ist in der Milchproduktion der Trend zu beobachten, dass die Herdengröße bei stagnierendem Arbeitskräftebesatz steigt. Somit werden an das Management eines landwirtschaftlichen Betriebes immer höhere Anforderungen gestellt. Im Zuge dieser Entwicklung werden zunehmend automatisierte Systeme zum Beispiel in den Bereichen Fütterung, Melken und Reproduktionsstatus auf den landwirtschaftlichen Betrieben eingesetzt. Diese Systeme dienen neben der automatischen Arbeitserledigung vor allem der Überwachung der einzelnen Prozesse und der Tiere. Ziel des Einsatzes von automatischen Überwachungssystemen ist neben der Verbesserung der Wirtschaftlichkeit des Betriebes die Erfüllung der steigenden Anforderungen hinsichtlich Produktqualität, Qualitätssicherung und Tierschutz.

Das Problem der automatischen Gesundheitsüberwachung der Milchkühe ist dabei noch nicht vollständig gelöst. Mastitiden und Klauenerkrankungen, die beiden häufigsten und wirtschaftlich bedeutendsten Milchvieherkrankungen, können derzeit nicht mit ausreichender Sicherheit über ein automatisches Diagnoseverfahren erkannt werden. Da beide Erkrankungskomplexe symptomatische Veränderungen des Temperaturniveaus und -musters an der entsprechenden Körperregion hervorrufen, stellt die präzise Messung der Oberflächentemperatur mittels Infrarot (IR)-Thermographie einen vielversprechenden Ansatz zur Erkennung dieser dar. Darüber hinaus könnte auf diese Weise auch die ansteigende Körpertemperatur bei Veränderung des Allgemeinzustandes (Fieber) erkannt werden.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll das Potenzial der IR-Thermographie als passives, nicht invasives Verfahren zum automatischen Gesundheitsmonitoring für Milchkühe überprüft werden. Im Fokus der Betrachtung steht dabei die Frage: Sind Euter- und Klauenerkrankungen sowie Fieber durch routinemäßige IR-Thermographie erkennbar und mit welcher Sicherheit?

Die IR-Thermographie wird neben zahlreichen industriellen Anwendungen zunehmend auch im Agrarbereich, etwa bei der Analyse von Entzündungen im Pferdesport oder zur Untersuchung des Thermoregulationsverhaltens von Milchkühen, eingesetzt. Bislang fehlt jedoch ein routinemäßiger Einsatz zum Monitoring der Tiergesundheit, da der Einsatz der dieser Technologie die Einhaltung besonderer Randbedingungen (Klima, Beseitigung von Anhaftungen), der manuellen Aufnahme von Einzelbildern und deren weitgehend manueller Analyse erfordert. Für die Messung der Oberflächentemperatur wurde in der vorliegenden

Arbeit deshalb eine besonders leistungsfähige IR-Messtechnik mit zum Teil automatischer Bildauswertung eingesetzt. In den Untersuchungen wurden neben den Oberflächentemperaturen der Tiere verschiedene mögliche Einfluss- und Störgrößen wie zum Beispiel die Umgebungstemperatur, die Luftgeschwindigkeit, der Tageszeitpunkt der Messung und die Verschmutzung der Tiere erfasst. Darüber hinaus wurden Referenzuntersuchungen, die Rückschlüsse auf den Gesundheitszustand der Euter, Klauen und des Allgemeinzustandes zulassen, ermittelt. Damit sollen in der Arbeit sowohl die Zusammenhänge zwischen den Oberflächentemperaturen und möglichen Einflussgrößen als auch die Zusammenhänge zwischen den Oberflächentemperaturen und Referenzdaten hinsichtlich der Tiergesundheit dargestellt werden. Letztlich sollten Vorschriften (sogenannte Algorithmen), die die Tiere anhand ihrer Oberflächentemperatur an der jeweils interessanten Körperregion in die Kategorien auffällig und unauffällig einstufen, entwickelt und anhand des diagnostischen Tests bezüglich der Eignung der IR-Thermographie für ein automatisches Gesundheitsmonitoringsystem bei Milchkühen bewertet werden.

## **2 Literatur**

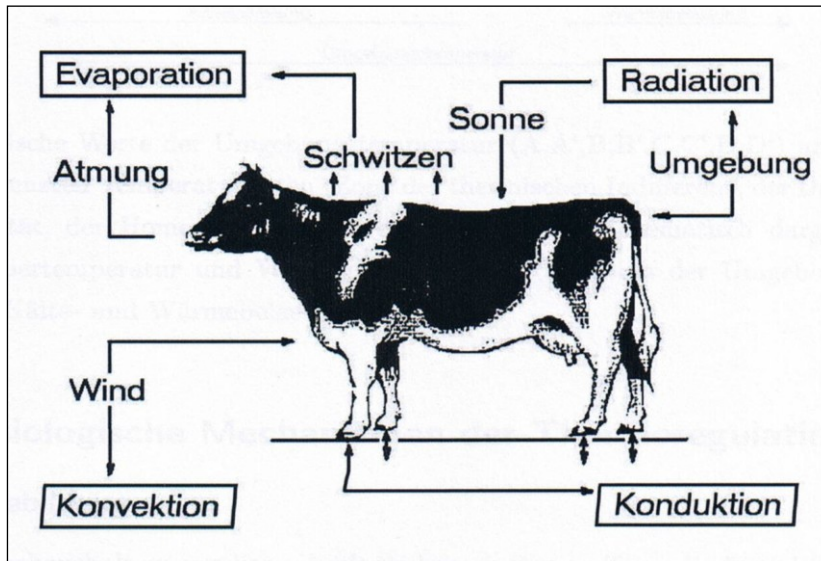
### **2.1 Wärmehaushalt und Thermoregulation des Rindes**

Rinder sind homoiotherme Lebewesen, d.h. sie sind in der Lage innerhalb eines bestimmten Umgebungstemperaturbereiches ihre Körperkerntemperatur konstant zu halten (LYHS, 1971). Die Thermoregulation findet im Hypothalamus statt, wo die afferenten Signale der Temperaturrezeptoren der Haut, des Rückenmarks sowie des Hypothalamus selbst verarbeitet werden (VON ENGELHARDT & BREVES, 2000). Es kommt zum Abgleich des festgelegten Sollwertes mit dem erfassten Istwert. Sollte eine Differenz zwischen beiden auftreten werden die Stellglieder der Wärmeproduktion oder der Wärmeabgabe aktiviert. Die Wärmeproduktion besteht aus der Ruhe-Wärmeproduktion, dem Kältezittern, der zitterfreien Wärmeproduktion sowie der Wärmeproduktion im braunen Fettgewebe. Die Ruhe-Wärmeproduktion wird auch als Ruhestoffwechselrate bezeichnet und ist am höchsten nach der Futteraufnahme (PENZLIN, 2005). Sie beträgt bei Rindern etwa ein Watt pro Kilogramm Futter (VON ENGELHARDT & BREVES, 2000).

Das Kältezittern kann als Steigerung der Wärmeproduktion durch den Muskeltonus beschrieben werden. Dabei wird im eigentlichen Sinn keine Arbeit verrichtet, da kein Erfolg sichtbar wird. Dennoch ist auf diese Weise die kurzfristige Steigerung (max. zwei Stunden) der Ruhe-Wärmeproduktion um das Vier- bis Fünffache möglich (MÜLLER & FRINGS, 2007). Bei der zitterfreien Wärmeproduktion, die auch als biochemische Wärmeproduktion bezeichnet wird, werden in der Leber Fettsäuren verbrannt. Dieser Vorgang verläuft nach hormoneller Aufforderung durch die Anreicherung von Adrenalin und Thyroxin (MÜLLER & FRINGS, 2007).

Die Wärmeproduktion im braunen Fettgewebe verläuft ebenfalls durch die Verbrennung von Fettsäuren. Jedoch werden diese nicht in der Leber sondern von zelleigenen Mitochondrien des braunen Fettgewebes umgesetzt. Dabei wird die freiwerdende Energie nicht in den Citratzyklus eingeleitet sondern direkt in Wärme umgewandelt (MÜLLER & FRINGS, 2007). Ausgelöst wird dieser Prozess durch das Hormon Noradrenalin. Diese Art der Wärmeproduktion tritt nur bei Tieren auf, die ein solches Fettgewebe besitzen. Dies sind junge Säugetiere sowie Säugetiere mit weniger als zehn Kilogramm Körpergewicht (VON ENGELHARDT & BREVES, 2000).

Die Wärmeabgabe wird über die physikalischen Prozesse der Konduktion, Konvektion, Evaporation und Radiation realisiert (VON ENGELHARDT & BREVES, 2000; siehe Abbildung 1).



**Abbildung 1: Wärmeabgabe des Rindes**  
 Quelle: RÖBNER (2005)

Bei der Wärmeabgabe über Konduktion (Wärmeleitung) erfolgt die direkte Übertragung von kinetischer Energie von Molekül zu Molekül. Die Richtung des Wärmetransfers ist dabei vorgeschrieben. Sie erfolgt von der kälteren in die wärmere Schicht.

Bei der Konvektion (Wärmeströmung) wird in die freie und in die erzwungene Konvektion unterschieden (VON ENGELHARDT & BREVES, 2000). Die freie Konvektion tritt auf, wenn die Körperwärme von der Luft, die dem Fell anliegt, übernommen wird. Diese erwärmte Luft steigt dann über dem Fell auf und es strömt kältere Luft nach. Dabei treten laminare Strömungen auf. Diese Art der Wärmeabgabe erfolgt proportional zur Temperaturdifferenz zwischen Luft und Körperoberfläche (VON ENGELHARDT & BREVES, 2000). Die erzwungene Konvektion verläuft prinzipiell genau wie die freie Konvektion. Der Unterschied besteht darin, dass bei der erzwungenen Konvektion zusätzliche Luftbewegung (Wind) auftritt und somit die Wärmeabgabe durch den schnelleren Abtransport der erwärmten Luft verstärkt wird (PENZLIN, 2005).

Die Wärmeabgabe des Tieres über Radiation (Wärmestrahlung) erfolgt über langwellige Infrarotstrahlung und beträgt ca. 5 Watt pro m<sup>2</sup> und °C Temperaturdifferenz zwischen Tier und Umgebung (VON ENGELHARDT & BREVES, 2000).

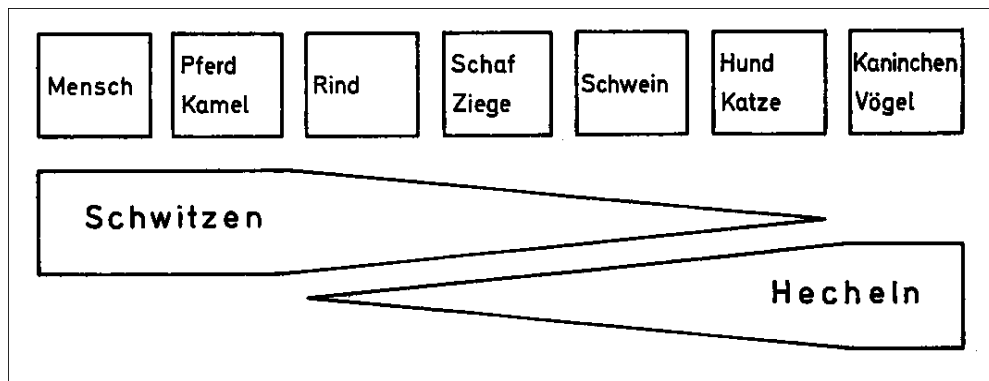
Die Konduktion, Konvektion und Radiation sind die Formen der trockenen Wärmeabgabe. Sie erfordern, dass die Temperatur der Umgebung geringer ist als die des Tieres. Die feuchte Wärmeabgabe (Evaporation) hingegen kann auch gewährleistet werden, wenn die Umgebungstemperatur höher ist als die Temperatur des Tieres (PENZLIN, 2005). Voraussetzung ist lediglich, dass der Wasserdampf-Partialdruck auf der Haut des Tieres höher

ist als in der Umgebung. Ist der Wasserdampfgehalt der Luft hoch (hohe Luftfeuchte) wird die Wasserabgabe vom Tier an die Umgebung schwierig. Die Wärmeabgabe über Evaporation ist nur eingeschränkt möglich (PENZLIN, 2005). Die Evaporation (Verdunstung) erfolgt auf der Haut oder in den Atemwegen. Sie ist eine hocheffektive Art der Wärmeabgabe, da bei der Verdunstung von Wasser durch Hecheln oder Schweißsekretion 2400 kJ pro l an Verdampfungswärme frei werden (PENZLIN, 2005). Darüber hinaus gibt es noch die unregelmäßige Wärmeabgabe über Verdunstung der Feuchtigkeit in der Ausatemluft, die sogenannte Perspiratio insensibilis. Sie beträgt etwa 20% der Ruhe-Wärmeproduktion (VON ENGELHARDT & BREVES, 2000).

Die Thermoregulation des Rindes mit den Prozessen zur Wärmeproduktion und -abgabe wird durch physiologische Reaktionen des Organismus unterstützt. Diese sind der Wechsel der Behaarung, das Verhalten sowie das Schwitzen bzw. Hecheln und die Durchblutung. Die Behaarung (Fell) dient als Isolator, da durch ein dickes Fell im Winter eine ruhende Luftschicht über der Haut gebildet wird und so die Konvektion eingeschränkt ist. Luft hat eine sehr niedrige Wärmeleitfähigkeit und somit dient die gebildete Luftschicht der Isolation im Winter. Im Sommer hingegen behindert das dicke Fell die Wärmeabgabe. Daher wird die Behaarung gewechselt. Dabei ist das Sommerfell meistens nicht nur dünner sondern auch heller als das Winterfell. Dadurch wird ein Teil der kurzwelligen Sonnenstrahlung sofort reflektiert und erreicht nicht den Körper. Das Sommerfell ermöglicht also nicht nur eine erhöhte Wärmeabgabe sondern schützt auch vor Wärmeeinstrahlung (VON ENGELHARDT & BREVES, 2000).

Änderungen im Verhalten der Rinder können zur Thermoregulation beitragen. So werden zum Beispiel bei hohen Umgebungstemperaturen die Nahrungsaufnahme und die Bewegungsaktivität herabgesetzt. Dies bewirkt eine Absenkung der Wärmeproduktion durch Stoffwechsel und Muskelaktivität (LYHS, 1971). Auf der Weide werden schattige Plätze aufgesucht und das Grasen meist in die kühleren Nachtstunden verlegt (LYHS, 1971).

Bei ansteigender Umgebungstemperatur wird die Wärmeabgabe über Evaporation gesteigert. Dazu dienen die Prozesse Schwitzen bzw. Hecheln. Die Schweißsekretion ist effektiver als das Hecheln, da die Haut eine große Verdunstungsfläche bildet. Beide Vorgänge kommen bei den verschiedenen Tierarten in unterschiedlicher Stärke vor (siehe Abbildung 2). Das Rind ist dabei eine Tierart die in relativ hohem Maße Wärme über die Schweißsekretion abgibt und in nur geringem Maße über das Hecheln (LOEFFLER, 2002).



**Abbildung 2: Relativer Anteil des Hechels und Schwitzens an der Verdunstungswärmeabgabe verschiedener Tierarten**

Quelle: SCHEUNERT & TRAUTMANN (1987)

Die Durchblutung ist ein wichtiger Mechanismus zur kurzfristigen Temperaturregulation. Voran gestellt sei der Erklärung der Funktionsweise der Durchblutung, dass der gesamte Körper in zwei Zonen (Körperkern und Körperschale) unterteilt wird. Der Körperkern umfasst die Organe der Brust- und Bauchhöhle sowie das Gehirn (MÜLLER & FRINGS, 2007). Die Körperschale hingegen besteht aus Haut und Unterhaut, der Skelettmuskulatur in Ruhe, den Extremitäten sowie den Körperanhängen (Ohren, Schwanz). Dabei weist die Körperschale keine konstante Temperatur auf (LYHS, 1971). Denn sie dient bei niedriger Umgebungstemperatur als Isolator und bei hoher Umgebungstemperatur als Wärmeübermittler für die Stabilität der Körperkerntemperatur. Diese Wärmeübermittlung erfolgt durch die Durchblutung. So wird die überschüssige Wärme des Körperkerns vom Blut aufgenommen durch die Muskulatur schnell zur Haut befördert. Auf diese Weise entsteht eine konvektive Überbrückung zur Wärmeleitung vom Körperkern zur Körperschale (VON ENGELHARDT & BREVES, 2000). Durch die Anordnung der Blutgefäße wird der Wärmestrom durch das Blut zusätzlich unterstützt. So wird bei niedrigen Umgebungstemperaturen nicht nur die Hautdurchblutung durch Verengung der Blutgefäße (Vasokonstriktion) verringert und damit die Wärmeabgabe minimiert, sondern es erfolgt zusätzlich der Rückstrom des Blutes über tiefe, eng an den Arterien anliegende Venen. Dabei kann die Wärme des arteriellen Blutes über ein Gegenstrom-Wärmeaustausch zum Rumpf zurückgeführt werden. Bei hohen Umgebungstemperaturen hingegen steigt die Hautdurchblutung durch Weitung der Blutgefäße (Vasodilation) an. Darüber hinaus strömt das Blut über oberflächliche Venen zurück, wodurch die Wärmeabgabe maximiert wird.

Der Anteil der einzelnen Wärmeabgabemechanismen (Konduktion, Konvektion, Radiation, Evaporation) an der Gesamtwärmeabgabe ist abhängig von der Umgebungstemperatur, der relativen Luftfeuchte und der Luftbewegung (LYHS, 1971). Bis zu einer

Umgebungstemperatur von etwa 20°C erfolgt bei Rindern die Wärmeabgabe hauptsächlich über die trockenen Wärmeabgabemechanismen der Konduktion, Konvektion und Radiation (LYHS, 1971). Bei 20°C Umgebungstemperatur sind die Hautgefäße des Rindes maximal dilatiert und es ist auf diese Weise keine Erhöhung des Temperaturgradienten zwischen Haut und Umgebung mehr möglich. Damit kann die Wärmabgabe über Konduktion nicht mehr gesteigert werden, die Wärmeabgabe über Konvektion ist begrenzt und die Effektivität der Radiation ist eingeschränkt (LYHS, 1971). Dadurch gewinnt die feuchte Wärmeabgabe ab ca. 20°C Umgebungstemperatur an Bedeutung. Durch die Evaporation (Schweißsekretion, Hecheln, Perspiration insensibilis) ist das Rind in der Lage seine Körperkerntemperatur bis zu einer Umgebungstemperatur von 30°C bei mittlerer Luftfeuchte konstant zu halten (LYHS, 1971). Die genannten Regelmechanismen verändern auch die Oberflächentemperatur der Rinder und müssen damit bei der Auswertung der IR-Thermographie berücksichtigt werden.

## **2.2 Einflüsse auf die Körpertemperatur des Rindes**

### *2.2.1 Fieber*

Fieber ist eine Reaktion des Organismus auf Infektionen. Ausgelöst wird Fieber durch sogenannte Pyrogene (fiebrerzeugende Stoffe). Man unterscheidet dabei exogene und endogene Pyrogene (VON ENGELHARDT & BREVES, 2000). Zu den exogenen Pyrogenen zählen Viren, Bakterien und deren Bestandteile wie z. B. Lipopolysaccharide. Diese Pyrogene wirken auf den Körper und induzieren damit die Produktion von Cytokinen in den Makrophagen, die als endogene Pyrogene bezeichnet werden. Sie lösen die Immunantwort des Körpers aus (VON ENGELHARDT & BREVES, 2000). Zu dieser Immunantwort gehört auch die Erhöhung des Sollwertes der Körperkerntemperatur, das Fieber (VON ENGELHARDT & BREVES, 2000; LYHS, 1971). Ziel dieses Vorgangs ist die Beschleunigung der chemischen Prozesse im Organismus (Van't-Hoffsche-Regel: durch Anstieg der Temperatur von 1°C erfolgt die Steigerung der chemischen Prozesse um 10-15%) und damit die effektive Abwehr einer anstehenden Erkrankung (VON ENGELHARDT & BREVES, 2000).

Aufgrund der Erhöhung des Sollwertes der Körperkerntemperatur erscheint die zu der Zeit noch vorherrschende Kerntemperatur als zu gering und muss angehoben werden. Der Organismus reagiert dabei, als befände er sich in einer kalten Umgebung, mit verstärkter Wärmebildung und verminderter Wärmeabgabe also durch Vasokonstriktion, Stoffwechselsteigerung und Kältezittern (VON ENGELHARDT & BREVES, 2000; LYHS, 1971). Ist die Körperkerntemperatur dann auf das neue Niveau eingestellt, wird sie auf diesem Niveau gehalten. Bei Abfall des Fiebers wird der Sollwert der Körperkerntemperatur wieder auf normales Niveau herunter geregelt und der Organismus muss die noch vorhandene Wärme verstärkt abgeben. Dazu wird die Vasodilation maximiert und die Evaporation setzt ein (LYHS, 1971). Der Verlauf einer Fieberreaktion mit den entsprechenden physiologischen Veränderungen ist in Abbildung 3 dargestellt.



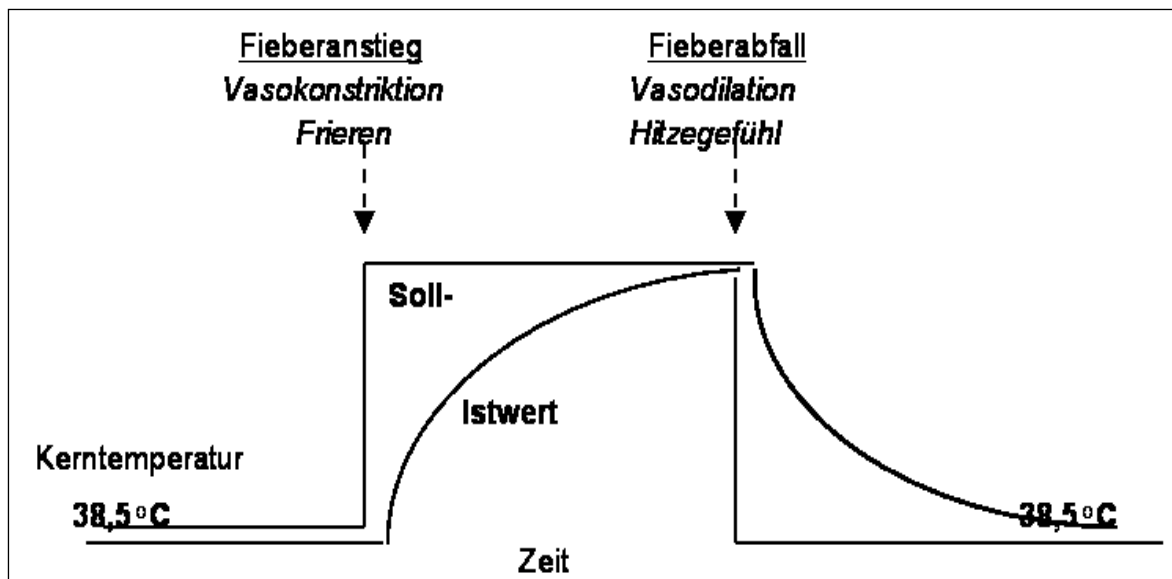
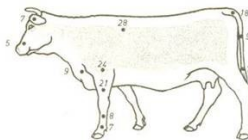
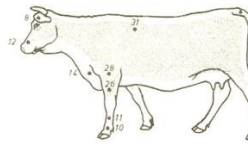
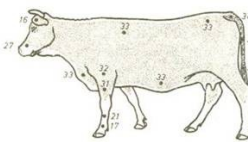
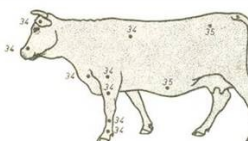


Abbildung 3: Physiologische Veränderung bei Fieberanstieg und Fieberabfall  
Quelle: HENSEL (1967)

Die physiologisch normale Körpertemperatur von ausgewachsenen Rindern liegt im Mittel bei 38,5°C (SCHEUNERT & TRAUTMANN, 1987). Der Temperaturbereich erstreckt sich dabei von 37,5 bis 39,5°C. Damit gilt bei ausgewachsenen Rindern eine gemessene Körperkerntemperatur von mindestens 39,5°C als Fieber (SCHEUNERT & TRAUTMANN, 1987; FREICK, 2009; KREHER, 2011).

### 2.2.2 Umgebungstemperatur

Die Temperatur der Körperschale ist bei homoiothermen Tieren, wie den Rindern, nicht konstant. Bei geringer Umgebungstemperatur ist die Oberflächentemperatur der Körperschale umso niedriger je weiter der betrachtete Bereich vom Körperkern entfernt ist. Besonders kühl erscheinen dann die Enden der apikalen Organe (Extremitäten, Ohren, Schwanz). Eine Topographie der Temperaturen verschiedener Regionen der Körperschale bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen konnte anhand der Untersuchungen von BEAKLEY & FINDLAY (1955a, b) an Kälbern der Rasse Ayrshire sowie nach WHITTOW (1962) zusammengestellt werden (siehe Abbildung 4). Deutlich werden dabei die besonders niedrigen Temperaturen im Bereich der Klauen, der Nase, der Ohren und des Schwanzes bei niedrigen Umgebungstemperaturen ( $-5^{\circ}\text{C}$ ,  $5^{\circ}\text{C}$ ). Darüber hinaus zeigt sich in diesen genannten Bereichen verglichen mit den Bereichen des Rückens, Oberschenkels oder Rektums ein überproportionaler Temperaturanstieg bei steigender Umgebungstemperatur. Damit ist der Anstieg der Körperschalentemperatur nicht linear sondern die Temperaturänderungen sind für die verschiedenen Körperregionen unterschiedlich (LYHS, 1971).

Umgebungstemperatur	Oberflächentemperatur des Rindes
-5°C	
5°C	
15°C	
20°C	

Körperregion	Umgebungstemperatur		
	5°C	20°C	30°C
Rektum	36,5°C	39,2°C	39,8°C
Schwanz	11,4°C	31,5°C	37,1°C
Zehenknochen	10,1°C	29,0°C	36,5°C
Oberschenkel	27,4°C	33,1°C	37,6°C
Brust	31,1°C	36,5°C	38,0°C
Ohrmuschel		37,5°C	38,6°C

**Abbildung 4: Hauttemperaturen des Rindes (in $^{\circ}\text{C}$ ) bei verschiedenen Umgebungstemperaturen**  
 Quelle: BEAKLEY & FINDLAY (1955 a, b), WHITTOW (1962)

ARAKI ET AL. (1984, 1987) untersuchten den Einfluss des Klimas (heiße Temperaturen) und des Laktationsstadiums auf die Temperaturverläufe von Milchkühen. Dabei wurden die Vaginaltemperaturen von jeweils fünf Kühen in drei verschiedenen Laktationsstadien (<100 Tage p.p.; >240 Tage p.p.; Trockenstehende) über 17 Tage alle 15 Minuten gemessen. Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede der täglich gemittelten Vaginaltemperaturen zwischen den früh und spät laktierenden Kühen. Zwischen den Laktierenden und Trockenstehenden konnten an einigen Tagen signifikante Unterschiede festgestellt werden, wobei die Temperaturen der laktierenden Tiere dabei höher waren als die der trockenstehenden. Die signifikanten Unterschiede traten verstärkt an den Tagen mit höheren Umgebungstemperaturen auf. Darüber hinaus konnten häufiger signifikante Unterschiede zwischen den früh laktierenden Kühen und den trockenstehenden festgestellt werden als zwischen spät laktierenden und trockenstehenden. Des Weiteren wurden Korrelationen zwischen den Umgebungstemperaturen, der Luftfeuchte und des Temperature-Humidity-Index für die einzelnen Laktationsstadien ermittelt (siehe Tabelle 1).

Der Temperature-Humidity-Index ist als ein Indikator für die Beurteilung von Hitzestress bei Milchkühen bekannt. Er bezieht neben der Umgebungstemperatur auch die Luftfeuchte mit ein, da eine hohe Luftfeuchte die Evaporation erschwert und so die mögliche Wärmeabgabe einschränkt. Für die trockenstehenden Tiere konnten keine signifikanten Korrelationen zu den Umgebungsfaktoren festgestellt werden (ARAKI ET AL., 1984, 1987). Die laktierenden Milchkühe zeigten jedoch signifikante Korrelationen sowohl zur Umgebungstemperatur als auch zur relativen Luftfeuchte (ARAKI ET AL., 1984, 1987). Die Vaginaltemperaturen aller Laktationsstadien zeigten keine signifikanten Korrelationen zum Temperature-Humidity-Index (ARAKI ET AL., 1984, 1987). Anhand der Ergebnisse schlussfolgerten die Autoren, dass trockenstehende Kühe hitzetoleranter sind und damit eine stabilere Körpertemperatur aufweisen (ARAKI ET AL., 1984, 1987). Im Gegenzug erscheinen laktierende Kühe besonders in der Früh-laktation labiler und sensibler gegenüber sich ändernden Umgebungsfaktoren (ARAKI ET AL., 1984, 1987).

**Tabelle 1: Korrelationen zwischen täglich gemittelter Vaginaltemperatur und Umgebungsfaktoren**

Lactation group	Dry bulb temperature	Black globe temperature	Relative humidity <sup>1</sup>	Temperature humidity index <sup>1</sup>
Early	0,41 <sup>a</sup>	0,34 <sup>a</sup>	-0,40 <sup>a</sup>	0,00
Late	0,46 <sup>a</sup>	0,36 <sup>a</sup>	-0,38 <sup>a</sup>	-0,03
Dry	0,14	0,08	-0,03	0,03

<sup>a</sup>Significant correlation (P<0,01)

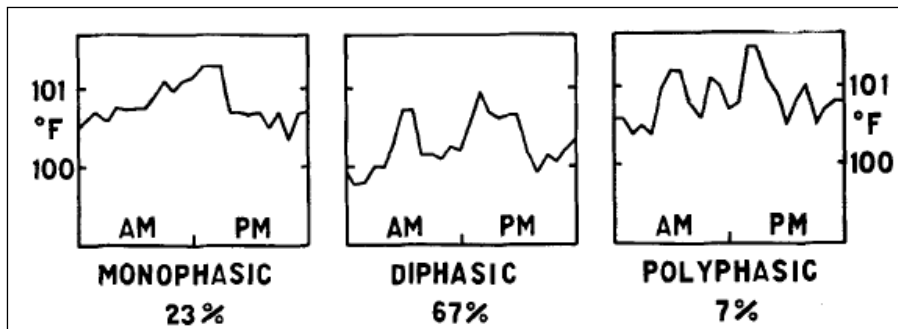
<sup>1</sup>Day 7 omitted

Quelle: ARAKI ET AL. (1984)

### 2.2.3 Tageszeit

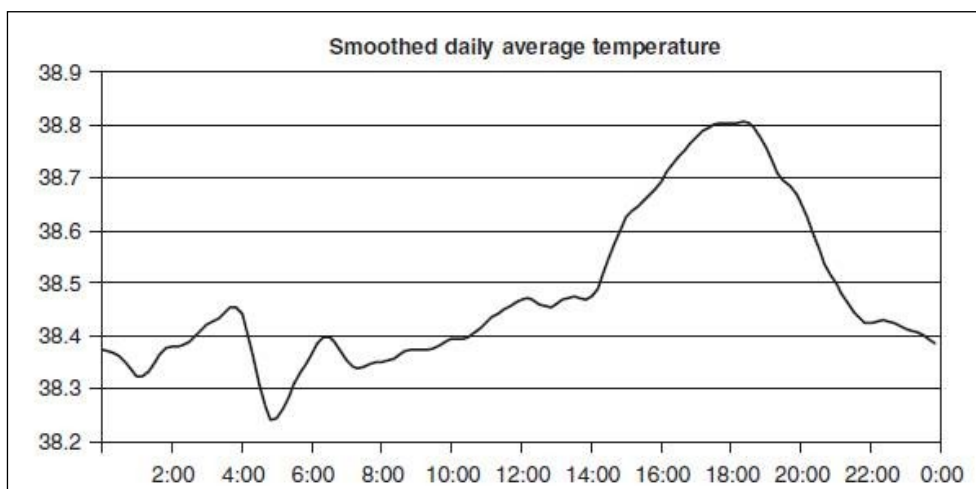
Die meisten biologischen Prozesse wahrscheinlich aller Organismen laufen in bestimmten zeitlichen Rhythmen ab (PENZLIN, 2005). Damit sind alle biologischen Prozesse unabhängig von ihrer Komplexitätsstufe zeitlich strukturiert. Das heißt, die Prozesse werden in gleichmäßiger, geordneter Abfolge mit verschiedenen Periodenlängen von wenigen Millisekunden bis hin zu mehreren Jahren wiederholt. Wichtigster Zeitgeber ist dabei der Wechsel von Hell und Dunkel (PENZLIN, 2005; MÜLLER & FRINGS, 2007).

Zu den am besten untersuchten Rhythmen gehört der diurnale (circadiane) Rhythmus, der eine Periodenlänge von 24 Stunden aufweist. Er zeigt sich unter anderem im Aktivitätsverhalten, der Hormonkonzentration im Blut und der Körpertemperatur (PENZLIN, 2005). In der Literaturstudie von MORTOLA & LANTHIER (2004) zu den circadianen Rhythmen bei Säugetieren wurde ein Körpertemperaturtief zwischen 7:00 und 10:00 Uhr sowie ein Temperaturhoch zwischen 19:00 und 22:00 Uhr beschrieben. Die Unterschiede zwischen hoher und niedriger Körpertemperatur liegen dabei bei ca.  $0,5^{\circ}\text{C}$  für Arten mit einem Körpergewicht von 0,1 bis 1 Tonne, zu denen auch die Rinder gehören. Eine ähnliche Höhe der Amplituden zwischen hoher und niedriger Körpertemperatur ( $0,34 \pm 0,15^{\circ}\text{C}$ ) fanden auch LEFCOURT ET AL. (1999) bei ihrer Untersuchung. Sie ermittelten die Temperatur in der Bauchhöhle von sechs Milchkühen über einen Zeitraum von 48 Stunden. Dabei zeigte sich im Temperaturverlauf aller Tiere ein circadianer Rhythmus, wobei der Verlauf einer Kuh eine Phasenverschiebung von  $180^{\circ}$  aufwies (LEFCOURT ET AL., 1999). Bei fünf Tieren konnte die höchste Körpertemperatur von  $39,09 \pm 0,05^{\circ}\text{C}$  nachts ( $23:23 \pm 2,33$  h) festgestellt werden. Die geringste Temperatur hingegen trat nachmittags ( $15:50 \pm 2,75$  h) mit  $38,82 \pm 0,05^{\circ}\text{C}$  auf (LEFCOURT ET AL., 1999). Dem entgegen stehen die Ergebnisse der Untersuchung von WRENN ET AL. (1961). Sie verglichen 102 Tagestemperaturverläufe und fanden bei 67% eine diphasische Charakteristik mit zwei Temperaturerhöhungen (5:00-7:00 Uhr und 13:00-18:00 Uhr), wobei das Temperaturhoch am Nachmittag höher war als das am Morgen (siehe Abbildung 5). 23% der Tagesverläufe zeigten eine monophasische Charakteristik mit nur einem Anstieg am Nachmittag. 7% zeigten drei oder mehr Temperaturanstiege über den Tag und wurden daher als polyphasisch beschrieben (WRENN ET AL., 1961). Die verbleibenden 3% waren aphasisch ohne jeglichen charakteristischen Verlauf (WRENN ET AL., 1961).



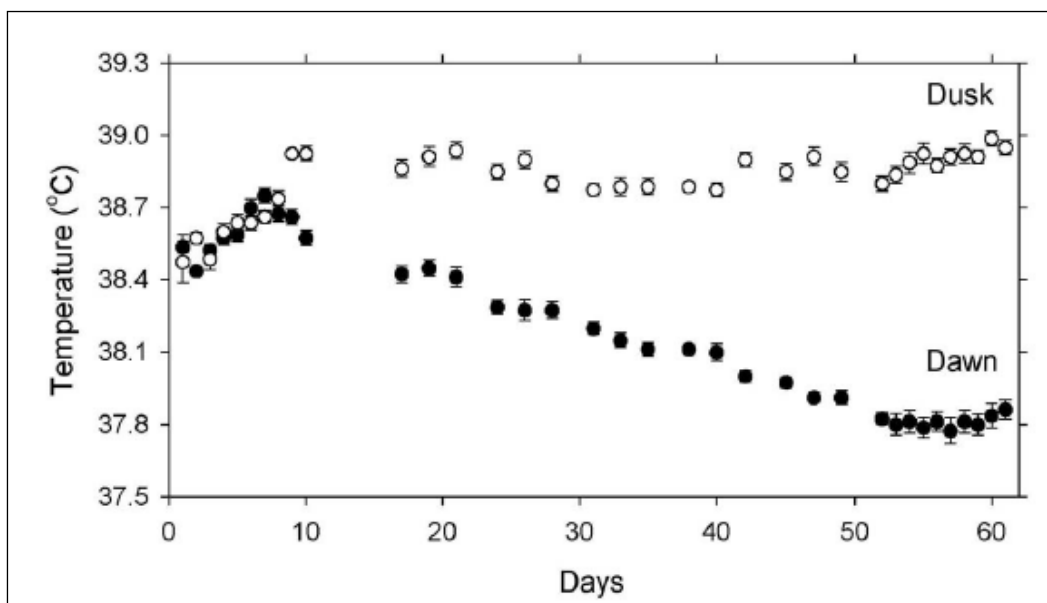
**Abbildung 5: Arten des charakteristischen Temperaturverlaufes der Körpertemperatur von Milchkühen**  
 Quelle: WRENN ET AL. (1961)

BITMAN ET AL. (1984) erkannten ebenfalls bei der Mehrheit der untersuchten Tiere (4 von 6) einen diphasischen Tagesverlauf der Temperatur im Euter und im Körper mit einer charakteristischen Erhöhung zwischen 24:00 und 8:00 sowie zwischen 13:00 und 20:00 Uhr. Dagegen fanden VERWOERD ET AL. (2006) die maximale Körpertemperatur von Milchkühen, die vaginal erfasst wurde, von 38,8°C zwischen 17:30 und 18:30 Uhr. Die niedrigste Körpertemperatur stellten sie morgens um 5:00 Uhr mit 38,24°C fest. Dabei zeigte der Temperaturverlauf keine diphasische Charakteristik (siehe Abbildung 6). Es konnte kein Zusammenhang zwischen der Körpertemperatur und den parallel erfassten Klimadaten in der gemäßigten Zone bzw. dem daraus berechneten Temperature-Humidity-Index festgestellt werden (VERWOERD ET AL., 2006). Daraus schlussfolgerten die Autoren, dass die Körpertemperatur bis zu einem Temperature-Humidity-Index von 72 unabhängig vom Klima ist (VERWOERD ET AL., 2006).



**Abbildung 6: Körpertemperaturverlauf über einen Tag**  
 Quelle: VERWOERD ET AL. (2006)

Auch PICCIONE ET AL. (2003) fanden Unterschiede in der Körpertemperatur von Rindern in Abhängigkeit von der Tageszeit. In ihrer Untersuchung wurden die Körpertemperaturen zunächst von acht Kälbern über die ersten zwei Lebensmonate gemessen. Dabei stellten sie fest, dass die Rektaltemperaturen innerhalb der ersten acht Lebenstage morgens (4:30 Uhr) und abends (19:30 Uhr) gleich waren (PICCIONE ET AL., 2003). Ab dem 10. Lebenstag war die Körpertemperatur am Abend stabil. Die morgendliche Körpertemperatur erreichte ihre Stabilität erst ab dem 52. Lebenstag (siehe Abbildung 7). Ab dem neunten Lebenstag unterschieden sich die Temperaturen zu den zwei Tageszeiten, wobei die am Abend gemessene Körpertemperatur höher war als die am Morgen (PICCIONE ET AL., 2003). Dieser Unterschied von ca. 1,2°C ist nach Aussagen der Verfasser nicht auf den Unterschied der Umgebungstemperatur morgens (22°C) und abends (28°C) zurückzuführen (PICCIONE ET AL., 2003). Auch die darüber hinaus gemessene Rektaltemperatur von vier Milchkühen zeigte abends (17:00 Uhr) deutlich höhere Werte als morgens (8:00 Uhr) (PICCIONE ET AL., 2003).



**Abbildung 7: Mittlere Körpertemperatur von Kälbern von der Geburt bis zum 60. Lebenstag**  
 Quelle: PICCIONE ET AL. (2003)

Anhand der genannten Untersuchungen kann geschlussfolgert werden, dass die Körpertemperatur der Rinder im Tagesverlauf unterschiedliche Werte annimmt. Die Körpertemperatur ist damit vom Zeitpunkt der Messung abhängig. Weiterhin kann festgehalten werden, dass die charakteristische Ausprägung der Temperaturverläufe vom Einzeltier abhängig ist (WRENN ET AL., 1961), womit auch die unterschiedlichen Ergebnisse hinsichtlich der Uhrzeit der maximalen und minimalen Körpertemperatur der einzelnen Studien erklärbar sind.

#### 2.2.4 Physiologischer Status

Der physiologische Status des Rindes beeinflusst die Körpertemperatur. So ist die Körpertemperatur unter anderem vom Alter des Tieres abhängig. Der Tabelle 2 ist zu entnehmen, dass mit zunehmendem Alter die physiologisch normale Körpertemperatur der Rinder geringer wird (SCHEUNERT & TRAUTMANN, 1987). Dabei liegt die mittlere Körpertemperatur von Rindern, die älter als ein Jahr sind, bei 38,5°C und damit 0,6°C unter der von Kälbern. Auch in der Untersuchung von WRENN ET AL. (1961) konnte bei ausgewachsenen Milchkühen eine geringere Körpertemperatur im Bereich der Vagina festgestellt werden als bei weiblichen Kälbern (siehe Tabelle 3). Demgegenüber ermittelten PICCIONE ET AL. (2003) bei Kälbern zwischen dem ersten und 60. Lebenstag nur eine mittlere Körpertemperatur von 38,3°C, allerdings mit einer sehr hohen Standardabweichung von 1,4°C.

**Tabelle 2: Bereiche der physiologischen Körpertemperatur von Rindern verschiedenen Alters**

	Körpertemperatur in °C	
	Mittelwert	Bereich
Kälber	39,1	38,5-40,0
Jungrinder	39,0	38,5-40,0
Rinder über 1 Jahr	38,5	37,5-39,5

Quelle: SCHEUNERT & TRAUTMANN (1987)

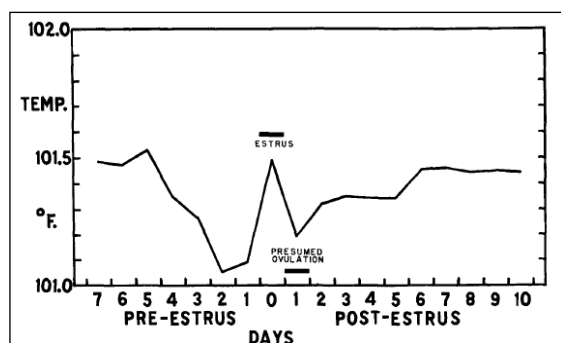
Jedoch beeinflusst nicht nur das Alter, sondern auch der Fruchtbarkeitsstatus des Tieres die Körpertemperatur der weiblichen Rinder. So zeigten in der Untersuchung von WRENN ET AL. (1961) Kühe mit einem normalen Brunstzyklus sowie hochtragende Kühe (letztes Drittel der Trächtigkeit) eine höhere Körpertemperatur (gemessen in der Vagina) als ovariectomierte Tiere (siehe Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.). Die höchste Körpertemperatur wurde dabei bei den hochtragenden Tieren ermittelt. Dies führen die Autoren auf die kontinuierliche Sekretion von Progesteron während der Trächtigkeit zurück (WRENN ET AL., 1961). So könnte das fehlende Progesteron bei den ovariectomierten Tieren auch für die durchschnittlich niedrigeren Körpertemperaturen verantwortlich sein (WRENN ET AL., 1961). Damit bestätigten die Autoren Ergebnisse einer vorhergehenden Studie, bei der neben der Vaginaltemperatur von 24 Kühen mit normalem Brunstzyklus auch die von 9 hochtragenden Tieren (10 Tage a.p. bis 9 p.p.) bestimmt wurde. Dabei war die gemessene Temperatur der hochtragenden Kühe in der Zeit von zehn bis drei Tagen vor der Kalbung höher als bei den nicht tragenden Tieren (WRENN ET AL., 1958).

**Tabelle 3: Vaginaltemperaturen von Milchkühen**

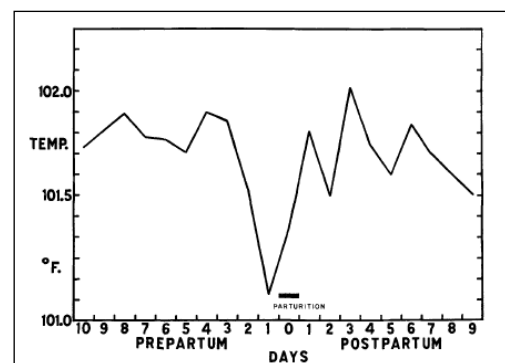
Kategorien der Kühe	Anzahl Tiere	Anzahl Tage	tägliches Mittel			
			Temperatur in °F (°C)	Maximum in °F (°C)	Minimum in °F (°C)	Spannweite in °F (°C)
Kühe mit normalem Brunstzyklus	4	44	100,73 (38,18)	101,41 (38,56)	100,15 (37,86)	1,26 (0,70)
ovarektomierte Kühe	4	31	100,62 (38,12)	101,32 (38,51)	99,96 (37,76)	1,36 (0,75)
tragende Kühe	3	6	101,02 (38,34)	101,60 (38,67)	100,42 (38,01)	1,18 (0,66)
weibliche Kälber	6	21	101,62 (38,68)	102,18 (38,99)	101,18 (38,43)	1,00 (0,56)

Quelle: WRENN ET AL. (1961)

Darüber hinaus wurden in der genannten Untersuchung auch die Verläufe der Vaginaltemperaturen über 54 Brunstzyklen ausgewertet. Dabei konnte wenige Tage vor der Brunst ein Abfall der Körpertemperatur festgestellt werden (WRENN ET AL., 1958). Diese stieg dann am Tag der Brunst an und fiel einen Tag später zum vermeindlichen Ovulationszeitpunkt deutlich ab. Bis zur Mitte des nächsten Zyklus ließ sich dann wieder ein Anstieg beobachten (siehe Abbildung 8). Bei der Betrachtung der Verläufe der hochtragenden Tiere stellten die Autoren fest, dass die Körpertemperatur ein bis zwei Tage vor der Kalbung deutlich abfällt (siehe Abbildung 9; WRENN ET AL., 1958). Den Verlauf der Körpertemperatur während eines Brunstzyklus bestätigten PICCIONE ET AL. (2003). Bei der von ihnen zweimal täglich gemessenen Rektaltemperatur (morgens und abends) von vier Kühen über drei Brunstzyklen jeweils in Sommer und Winter zeigte sich ebenfalls eine deutlich erhöhte Körpertemperatur am Tag der Brunst von etwa 1,3°C (PICCIONE ET AL., 2003). Begründet wird der Anstieg der Körpertemperatur am Tag der Brunst mit der vermehrten Aktivität der Kühe zu diesem Zeitpunkt (WRENN ET AL., 1958, PICCIONE ET AL. 2003).



**Abbildung 8: Mittlere Vaginaltemperatur im Brunstzyklus der Kuh**  
Quelle: WRENN ET AL. (1958)



**Abbildung 9: Mittlere Vaginaltemperatur 10 a.p. bis 9 Tage p.p.**  
Quelle: WRENN ET AL. (1958)

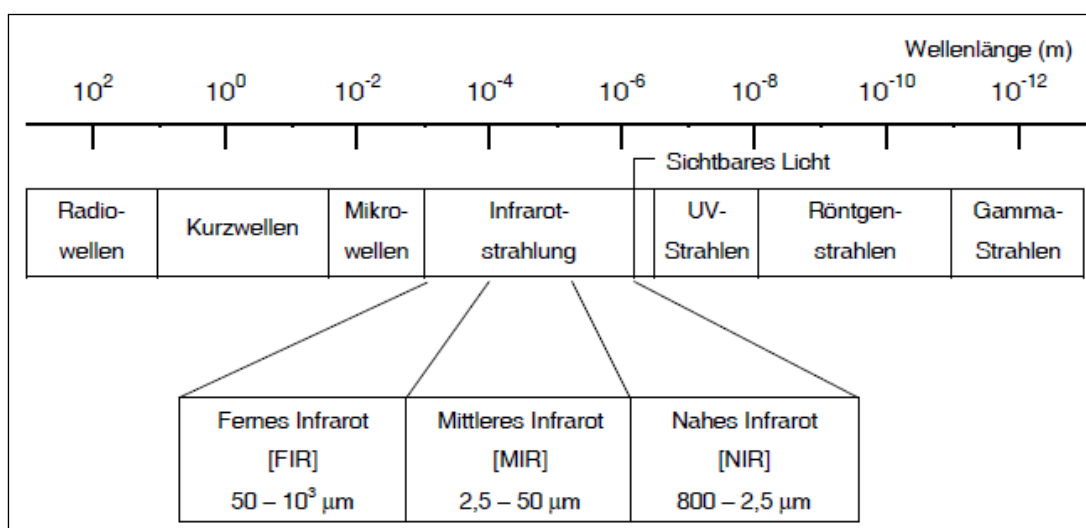


## 2.3 IR-Thermographie bei Rindern

### 2.3.1 Grundlagen

Wie bereits in Kapitel 2.1 (S. 3) beschrieben wurde, erfolgt ein Teil der Wärmeabgabe des Tieres über Radiation (Wärmestrahlung). Diese Wärmestrahlung ist als infrarote Strahlung charakterisiert. Sie wurde im Jahr 1800 durch den deutsch-englischen Astronomen William Herschel entdeckt bzw. erstmalig nachgewiesen (BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ, 2009). Der Nachweis gelang ihm, indem er das Sonnenlicht durch ein Prisma brach und so in die Farben des Spektralbereiches zerlegte. Er maß die Temperatur mit einem Thermometer in den verschieden farbigen Bereichen des sichtbaren Lichtes und auch außerhalb dieses Bereiches. Dabei stellte er die höchste Temperatur im Bereich außerhalb des sichtbaren Lichtes jenseits des roten Spektralbereiches fest und wies damit eine wärmende Strahlung nach (BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ, 2009). Die Infrarot (IR)-Strahlung ist also ein Teil der optischen Strahlung und damit auch Teil des elektromagnetischen Spektrums (BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ, 2009). Die IR-Strahlung schließt sich an den Bereich des sichtbaren Lichtes an und hat Wellenlängen von 0,8 bis 1.000  $\mu\text{m}$ . Dabei werden drei verschiedene Arten von IR-Strahlung unterschieden. Diese sind (GOTTWALD & WACHTER, 1997; siehe Abbildung 10):

1. Nahe IR-Strahlung: 0,8  $\mu\text{m}$  bis 2,5  $\mu\text{m}$
2. Mittlere IR-Strahlung: 2,5  $\mu\text{m}$  bis 50  $\mu\text{m}$
3. Ferne IR-Strahlung: 50  $\mu\text{m}$  bis 1.000  $\mu\text{m}$



**Abbildung 10: Elektromagnetisches Spektrum**  
Quelle: GOTTWALD & WACHTER (1997)

Jeder Körper mit einer Temperatur über dem absoluten Nullpunkt (-273,15°C) gibt IR-Strahlung ab. Da ein Körper mehr Energie in Form von IR-Strahlung (Wärmestrahlung) abgibt je wärmer er ist, kann die Messung dieser Strahlung zur Bestimmung der Temperatur des Körpers der sogenannten IR-Thermographie genutzt werden (BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ, 2009). Dabei kann die IR-Strahlung mit Hilfe von IR-Kameras sichtbar gemacht werden. Hierfür erfasst der Sensor (Optik) der Kamera die vom betrachteten Körper abgegebene IR-Strahlung in Form von Energie (GRUNER, 2003). Diese wird dann auf einen oder mehrere IR-Detektoren gelenkt, wo sie in elektrische Signale umgewandelt wird. Anhand der eingestellten Kalibrierung können aus den elektrischen Signalen in der Kamera Temperaturwerte berechnet werden, die anschließend dargestellt werden können (GRUNER, 2003). Für die IR-Kameras ist die Strahlung mit Wellenlängen von 0,7 bis 14 µm, also im Bereich der mittleren IR-Strahlung, relevant.

### *2.3.2 Überblick*

Die Literaturstudie von KNIZKOVA ET AL. (2007) gibt einen ersten guten Überblick über die Untersuchungen, die mit Hilfe der IR-Thermographie bei Rindern in den letzten Jahrzehnten durchgeführt wurden (siehe Tabelle 4). Deutlich wird, dass die Einsatzbereiche der IR-Thermographie sehr vielfältig sind. Neben der Anwendung des Verfahrens zur Erkennung von Gesundheitsstörungen verschiedenster Art wird es auch zur Untersuchung der thermoregulatorischen Prozesse und des Wärmehaushalts, zur Beurteilung des Hitzestresses, zur Feststellung des Fruchtbarkeitsstatus sowie zur Untersuchung der Wirkung verschiedener Applikationen (z.B. Brandzeichen, Ohrimplantate) auf die Oberflächentemperatur der Tiere eingesetzt. Der Fokus der Messung der Oberflächentemperatur liegt dabei auf den unterschiedlichsten Körperregionen, unter anderem die Euter, Klauen oder Hoden.

**Tabelle 4: Studien zum Einsatz der IR-Thermographie bei Rindern**

Quelle	Untersuchungsziel
COCKROFT ET AL. (2000)	- septische Mittelfußknochengelenke bei Färsen
GABOR ET AL. (1998)	- thermographische Eigenschaften der Hoden im Vergleich zu Sameneigenschaften bei Holstein-Friesian-Zuchtbullen
GERKEN UND BAROW (1998)	- Untersuchung der Thermoregulation von Mutterkühen unter Weidebedingungen
HELLEBRAND ET AL. (2003)	- Anwendbarkeit von IRT bei der Rinderhaltung
HURNIK ET AL. (1984)	- Erkennung von Gesundheitsstörungen bei Milchkühen
HURNIK ET AL. (1985)	- Erkennung von Hauttemperaturunterschiede in Verbindung mit der Brunst bei Milchkühen
KASTELIC ET AL. (1995)	- Hodenoberflächentemperatur sowie Temperaturen subkutan, intratestikulär und im Nebenhoden von Bullen
KASTELIC ET AL. (1996A)	- Einfluss von Umweltfaktoren auf die Messung der bovinen Hodenoberflächentemperatur
KASTELIC ET AL. (1996B)	- Erhöhung der Hodenoberflächentemperatur durch Ejakulation bei Bullen mit intakten Nebenhoden
KASTELIC ET AL. (1996C)	- Beeinflussung der Samenqualität und Hodentemperatur durch Wärmeisolierung des Hodenansatzes bei Bullen
KASTELIC ET AL. (1997A)	- Thermoregulation der Hoden und Effekte erhöhter Hodentemperatur bei Bullen
KASTELIC ET AL. (1997B)	- Beteiligung des Hodensackes, der Hoden und testikulären Arterie an der testikulären Thermoregulation bei Bullen bei verschiedenen Umgebungstemperaturen
KIMMEL ET AL. (1992)	- Verdampfungskühlung von Rindern: Transportphänomene und Thermovision
KNIZKOVA ET AL. (1996)	- Beurteilung der Wirkung der Verdampfungskühlung bezüglich der Veränderung der Oberflächentemperatur von Rindern
KNIZKOVA ET AL. (2002)	- Beurteilung eines natürlich belüfteten Milchviehstalles mit Hilfe einer thermographischen Messung
KOZUMPLIK ET AL. (1989)	- Diagnose von Entzündungsprozessen an den Geschlechtsorganen von Zuchtbullen
LENDELOVA ET AL. (2005)	- Einfluss der Bodenoberflächenstrukturqualität auf die thermalen Eigenschaften von Milchviehstallböden
NIKKAH ET AL. (2005)	- Betrachtung von Klauen bei Milchkühen in zwei Laktationsstadien
SCHAEFER ET AL. (1988)	- Einfluss von Nahrungsentzug und Transport auf Fleischrinder - 1. Säure-Basen-Elektrolyt-Bilanz und infrarot Wärmeverlust von Fleischrindern
SCHAEFER ET AL. (2004)	- Früherkennung und Prognose von Infektionen
SCHWARTZKOPFGENSWEIN UND STOOKEY (1997)	- Bewertung von Entzündungen hervorgerufen durch das Heiß-Eisen- oder Kälte-Brandzeichen bei Rindern
SPIRE ET AL. (1999)	- Erkennung von Entzündungen verursacht durch kontaminierte Wachstumsförderer als Ohrenimplantate bei Rindern
TONG ET AL. (1995)	- Erkennung von schlechter Rindfleischqualität
VERKERK ET AL. (2004)	- Minimierung von nachteiligen Umwelteinflüssen in der Tierhaltung

Quelle: KNIZKOVA ET AL. (2007)

### *2.3.3 Erkennung von Gesundheitsstörungen mit Hilfe von IR-Thermographie*

Der Einsatz der IR-Thermographie zur Erkennung von Gesundheitsstörungen beruht auf der Annahme, dass viele Erkrankungen mit entzündlichen Prozessen einhergehen. Eine Entzündung ist dabei definiert als Schutzfunktion des Organismus gegen schädigende Einflüsse (EGGER, 2005). Sie ist die Folge der Aktivierung des Immunsystems, wobei eine bestimmte Symptomatik entwickelt wird (EGGER, 2005). Zu dieser Symptomatik gehören die fünf Anzeichen einer Entzündung (EGGER, 2005):

- Rubor (lat. Rötung)
- Calor (lat. Erwärmung)
- Tumor (lat. Schwellung)
- Dolor (lat. Schmerz)
- Functio laesa (lat. eingeschränkte Funktion)

Diese Anzeichen, vor allem die Erwärmung, sollte dann mit Hilfe der IR-Thermographie durch eine Änderung der Oberflächentemperatur sichtbar gemacht werden können. Dieses Funktionsprinzip wurde nachgewiesen und der Einsatz der IR-Thermographie als Bestandteil der Gesundheitsüberwachung im Pferdesport sowie bei Zootieren etabliert (BAUMANN ET AL., 2006; BURON, 2005; HILSBURG, 2000). Bei Milchkühen liegt der Fokus der Untersuchungen hauptsächlich bei den Euterentzündungen und Klauenerkrankungen. Beide Erkrankungskomplexe sind deutschlandweit die wirtschaftlich bedeutendsten in der Milchproduktion, da sie die Hauptabgangsursache für Milchkühe nicht nur in Sächsischen Beständen sind (Abgänge aufgrund von Euterentzündungen 19,7%; Abgänge aufgrund von Klauen- und Gliedmaßenkrankungen 17,9%; Quelle: SÄCHSISCHER LANDESKONTROLLVERBAND, 2011). Weiterhin wird auch die Erkennung von Veränderungen der Körpertemperatur (Fieber) mit Hilfe der IR-Thermographie untersucht. Mittlerweile gehört das Fiebmessen in den ersten Tagen nach der Abkalbung fest zum Management der Betriebe, da auf diese Weise Störungen im Puerperium frühzeitig erkannt werden können (MAHLKOW-NERGE ET AL., 2005). Zudem gehen auch viele andere Gesundheitsstörungen mit Fieber einher. Eine automatisierte Erkennung dieses Zustandes z.B. durch den Einsatz der IR-Thermographie wäre eine Bereicherung des betrieblichen Gesundheitsmanagements (BURFEIND & HEUWIESER, 2012).

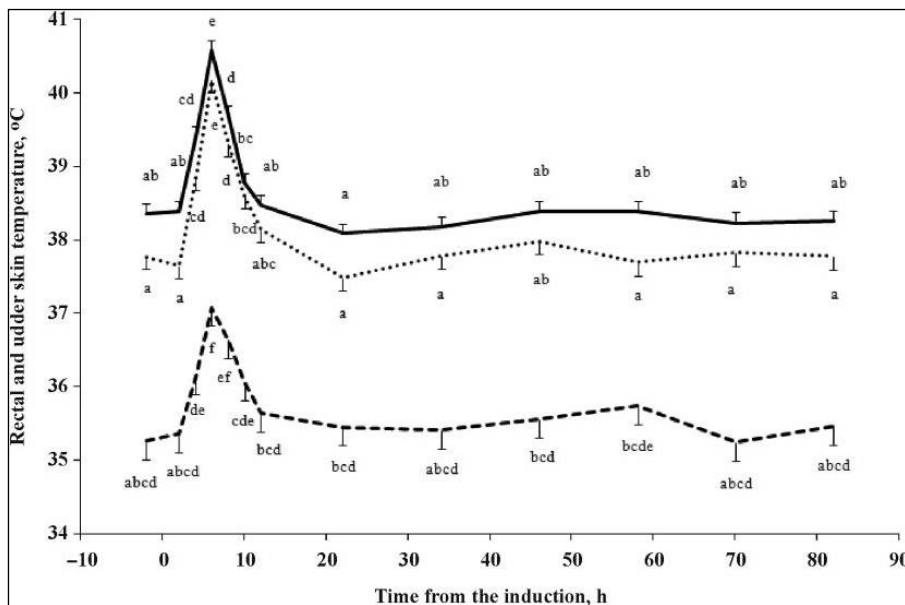
Die Vorteile dieser Technik benennen GSCHÖDERER ET AL. (2006) mit:

- hohe Genauigkeit der Temperatur
- keine Berührung oder sonstige Beeinflussung des Tieres (nichtinvasive Methode, bei der kein Medium wie z.B. Blut benötigt wird)
- direkter Vergleich von verschiedenen Körperregionen möglich (z.B. linke und rechte Extremität)
- Messungen zu verschiedenen Zeitpunkten sind vergleichbar und damit wird die Darstellung von Krankheitsverläufen möglich

#### 2.3.3.1 Euter

In verschiedenen Studien wurden einzelne Viertel von eutergesunden Kühen mit *Escherichia coli* (*E. coli*) infiziert und der Verlauf der Erkrankung durch Aufnahmen mit einer IR-Kamera verfolgt (SCHAEFER ET AL., 2004; GLAS, 2008; HOVINEN ET AL., 2008). In der Untersuchung von SCHAEFER ET AL. (2004) wurden die linken Hinterviertel von 20 Kühen mit *E. coli* infiziert. Der Verlauf der Mastitis wurde durch die Untersuchung von Milchproben, Messung der Rektaltemperatur sowie thermographische Aufnahmen vor und nach der Infektion dokumentiert. Dabei stellten SCHAEFER ET AL. (2004) fest, dass die Rektaltemperatur in den ersten 24 Stunden nach Infektion fast unverändert blieb, während sich die mittels IR-Thermographie festgestellte Oberflächentemperatur der Euterviertel bereits in der ersten Stunde nach Infektion signifikant veränderte. Hierbei stieg die Oberflächentemperatur (Maximaltemperatur des Euterviertels) beider Hinterviertel, obwohl nur das linke Viertel infiziert wurde. Eine signifikante Änderung der Rektaltemperatur zeigte sich erst sechs Stunden nach der Infektion. Da die ermittelten Differenzen der Oberflächentemperatur zwischen beiden Hintervierteln während der ersten 12 Stunden nach Infektion weniger als 1 K betrugen, schlussfolgerten SCHAEFER ET AL. (2004), dass bereits Temperaturänderungen von weniger als 1 K als Anzeichen einer Erkrankung gewertet werden müssen. GLAS (2008), die bei fünf Kühen das rechte Hinterviertel mit *E. coli* infizierte und dann stündlich die IR-Thermographie einen Tag vor bis einen Tag nach der Infektion auswertete, konnte einen deutlichen Anstieg der Oberflächentemperatur erst sieben bis neun Stunden nach der Infektion nachweisen. Diese erhöhte Oberflächentemperatur sank dann 15 bis 17 Stunden nach Infektion wieder ab. Hinsichtlich verschiedener IR-Kenngrößen (maximale Flächentemperatur, minimale Flächentemperatur, durchschnittliche Temperatur der eingezeichneten Fläche) stellte GLAS (2008) fest, dass der Anstieg und der Höhepunkt bei der

maximalen Flächentemperatur am stärksten ausgeprägt war. HOVINEN ET AL. (2008) infizierten das linke Vorderviertel von sechs eutergesunden Kühen mit *E. coli*. Neben der mittleren und maximalen Oberflächentemperatur wurde auch die Rektaltemperatur alle zwei Stunden in der Zeit von 5:00 bis 19:00 Uhr vor und nach der Infektion gemessen und Milchproben analysiert. Dabei stellten HOVINEN ET AL. (2008) genau wie SCHAEFER ET AL. (2004) nach der Infektion eine erhöhte Oberflächentemperatur sowohl am infizierten als auch am nicht infizierten Euterviertel fest. Im Gegensatz zu den Ergebnissen von SCHAEFER ET AL. (2004) fanden sie aber einen Anstieg der Oberflächentemperatur erst, als auch die Rektaltemperatur anstieg (HOVINEN ET AL., 2008). Einen deutlichen Anstieg der Oberflächentemperatur des Euters von mehr als 1 K zeigte sich bei HOVINEN ET AL. (2008) sechs Stunden nach Infektion. Dies entspricht in etwa der Zeitspanne nach der Infektion in der auch GLAS (2008) einen deutlichen Anstieg der Oberflächentemperatur nachweisen konnte. Weiterhin normalisierte sich die Oberflächentemperatur parallel zur Rektaltemperatur schnell wieder (HOVINEN ET AL., 2008). Der Verlauf der Rektaltemperatur sowie der Oberflächentemperaturen (maximal und durchschnittlich) ist in Abbildung 11 dargestellt.



**Abbildung 11: Reaktion der Parameter Rektaltemperatur, maximaler und durchschnittlicher Oberflächentemperatur am Euter (durchgezogene Linie – Rektaltemperatur; gepunktete Linie – maximale Oberflächentemperatur; gestrichelte Linie – durchschnittliche Oberflächentemperatur)**

Quelle: HOVINEN ET AL. (2008)

Zudem stellten HOVINEN ET AL. (2008) fest, dass die beiden IR-Kenngrößen nicht eher reagierten als die erfassten Milchparameter (Somatic Cell Count (SCC), elektrische Leitfähigkeit, N-Acetyl- $\beta$ -D-Glucosaminidase). Die Abwehrreaktion fand dabei nicht nur in dem infizierten sondern auch in dem nicht infizierten Viertel statt. Dies sehen die Autoren

darin begründet, dass *E.coli* systemisch wirkt und auch sofort Fieber auslöst, also die Sollwerttemperatur des Körpers verändert (HOVINEN ET AL., 2008). Aufgrund der Ergebnisse kamen HOVINEN ET AL. (2008) zu der Schlussfolgerung, dass eine stationäre IR-Kamera am Fressgitter oder im Melkstand die Erkennung klinischer Mastitiden oder fieberhafter Erkrankungen ermöglichen kann. Dafür seien aber Untersuchungen unter Feldbedingungen nötig.

Ohne Infektion des Euters mit Mastitiserregern untersuchte BARTH (2000, 2001) sechs Kühe über einen Zeitraum von acht Tagen. Dabei wurden die hinteren Euterviertel täglich thermographiert und in Beziehung zum SCC gesetzt. Dabei zeigte die Varianzanalyse keinen deutlichen Zusammenhang zwischen SCC und Euteroberflächentemperatur (BARTH, 2000; 2001). So konnte zwar eine geringfügig höhere Oberflächentemperatur von Eutervierteln mit hohem SCC als bei Vierteln mit einem SCC von weniger als 100.000 Zellen pro ml Milch festgestellt werden. Dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant (BARTH, 2000; 2001). Zu gegenteiligen Ergebnissen kamen COLAK ET AL. (2008) in ihrer Untersuchung von 94 Kühen. Sie setzten die mittels IR-Thermographie ermittelte Oberflächentemperatur in Beziehung zu den Ergebnissen des California-Mastitis-Test (CMT). Dabei fanden sie eine hohe Korrelation ( $r=0,92$ ) zwischen der Euteroberflächentemperatur und dem CMT-Score (COLAK ET AL., 2008). Daraus schlussfolgerten sie, dass die IR-Thermographie sensibel genug ist, um Veränderungen der Euteroberflächentemperatur mit unterschiedlicher Schwere der Milchdrüsenentzündung zu detektieren (siehe Abbildung 12). Damit ist für sie die IR-Thermographie zum Screening für Mastitis geeignet (COLAK ET AL., 2008).

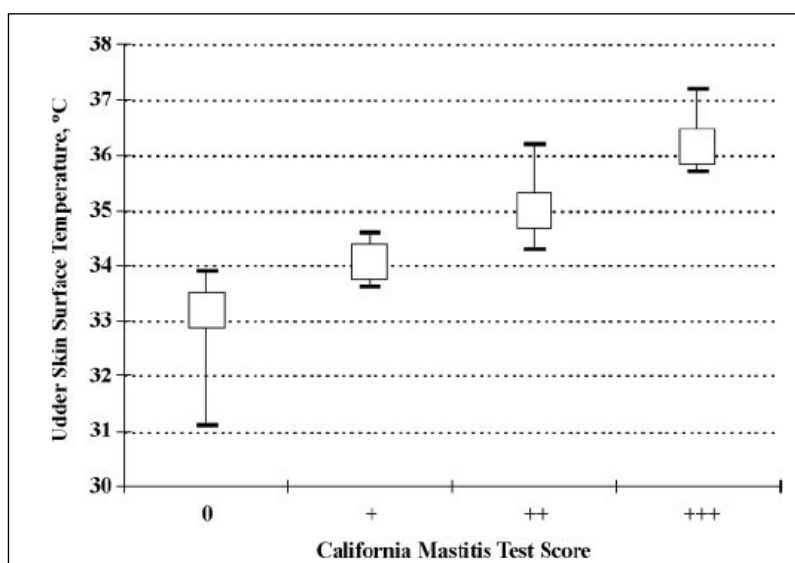
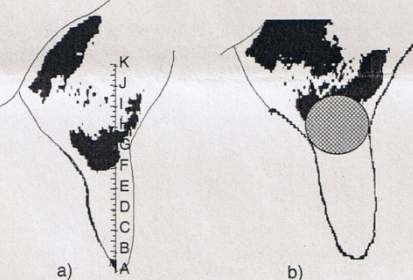
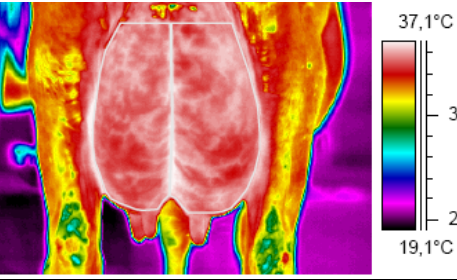

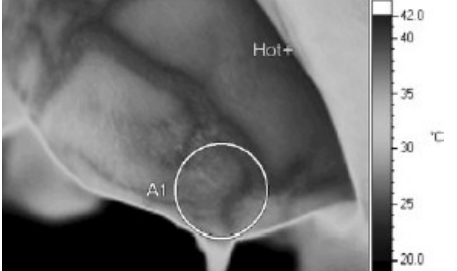


Abbildung 12: Zusammenhang zwischen California-Mastitis-Test und Oberflächentemperatur der Euterviertel  
Quelle: COLAK ET AL. (2008)

Bei den genannten Untersuchungen wurden verschiedene Messflächen am Euter zur Bestimmung der Oberflächentemperatur ausgewählt. BARTH (2000, 2001) begann mit der Messung der Temperatur an elf Punkten entlang der Zitze von der Zitzenspitze bis zum Euterboden (siehe Tabelle 5). Sie stellte dabei die geringste Temperaturvariabilität im Bereich des Übergangs von der Zitze zum Euterboden fest. Darüber hinaus konnte dort keine signifikante Korrelation zur Umgebungstemperatur festgestellt werden, und der Messpunkt wurde als günstig empfohlen (BARTH, 2000; 2001). Daher nutzten ihn auch HOVINEN ET AL. (2008). GLAS (2008) hingegen zeichnete die Form des Euterviertels mit Hilfe eines Polygons exakt nach. COLAK ET AL. (2008) hingegen zeichneten nur ein Rechteck im Bereich des Hinterviertels. Sowohl GLAS (2008) als auch HOVINEN ET AL. (2008) bemerkten die höchste Temperatur am Euter im Bereich des Euter-Schenkel-Spaltes und befanden die Temperatur dieser Region als nicht aussagekräftig für den Gesundheitsstatus des Euters, da sie durch die Beinstellung Kuh und die Euterform zu stark beeinflusst sei. Bei SCHAEFER ET AL. (2004) finden sich keine Angaben über die genutzte Region.

Die Autoren der genannten Studien benutzten zum Teil verschiedene IR-Kenngrößen (z.B. mittlere Flächentemperatur, minimale Flächentemperatur, maximale Flächentemperatur) und kamen alle zu dem Schluss, dass die maximale Oberflächentemperatur am aussagekräftigsten zur Einschätzung des Eutergesundheitszustandes sei (BARTH, 2000; 2001; COLAK ET AL., 2008; GLAS, 2008; HOVINEN ET AL., 2008).

**Tabelle 5: Verwendete Messflächen verschiedener Untersuchungen**

BARTH (2000, 2001)		GLAS (2008)	
COLAK ET AL. (2008)		HOVINEN ET AL. (2008)	



### 2.3.3.2 Klauen

Die an den Klauen gemessene Oberflächentemperatur ist geringer als die der Euter, da sie als Extremitäten weiter vom Körperkern entfernt liegen und die Euter aufgrund der Milchproduktion stärker durchblutet sind. Dies fanden auch AHNERT & RICHTER (2007) bei ihrer Untersuchung an 180 Kühen über einen Zeitraum von zehn Tagen heraus. Sie analysierten neben der Oberflächentemperatur der Euter auch die der Klauen. Der Mittelwert der Maximaltemperatur im Bereich der Euter betrug dabei 39,5°C, wohingegen die mittlere Maximaloberflächentemperatur an den Klauen bei 35,4°C lag. Darüber hinaus stellten sie fest, dass bei erkrankten Klauen die maximale Oberflächentemperatur im Mittel 1,5 K höher ist als bei gesunden Klauen (AHNERT & RICHTER, 2007). Neben den Klauenerkrankungen erfassten sie auch den Locomotionscore nach SPRECHER ET AL. (1997). Dabei konnten sie zwischen der Klauenoberflächentemperatur und der Note des Locomotionscores keine Korrelation feststellen (AHNERT & RICHTER, 2007). Begründet sahen sie dies in der Tatsache, dass der Locomotionscore nicht zwingend Rückschlüsse auf die Klauengesundheit zulässt (AHNERT & RICHTER, 2007). Bei der visuellen Einstufung der IR-Aufnahmen in auffällige und unauffällige Tiere mit anschließender Untersuchung durch das Klauenpflegepersonal erreichten AHNERT & RICHTER (2007) eine Sensitivität zum Finden klauenkranker Tiere von 90,6% bei einer Spezifität von 78,6%. Diese visuelle Beurteilung der Thermogramme und die damit verbundene hohe Findungsrate klauenkranker Tiere bestätigen die Ergebnisse der Untersuchung von GSCHÖDERER ET AL. (2006). Bei ihrer Studie an Zuchtbullen kamen GSCHÖDERER ET AL. (2006) zu dem Ergebnis, dass die absoluten Oberflächentemperaturen am Kronsaum weniger wichtig sind. Wichtig sind dagegen Temperaturunterschiede zwischen den beiden Extremitäten. Zwar ist anhand der thermographischen Aufnahmen keine exakte Diagnose zum Vorliegen einer bestimmten Klauenerkrankung möglich. Aber mit Hilfe der IR-Thermographie ist die Selektion auffälliger Tiere möglich, um rechtzeitig eine Begutachtung durch das Klauenpflegepersonal zu veranlassen (GSCHÖDERER ET AL., 2006). Damit kommen GSCHÖDERER ET AL. (2006) zur gleichen Schlussfolgerung wie AHNERT & RICHTER (2007). Gegenteilige Ergebnisse fand WILHELM (2010). Sie untersuchte Alt- und Jungkühe von drei Betrieben sowohl in der ersten Woche als auch in der achten Woche nach der Abkalbung. Dabei wurden IR-Aufnahmen von der Klauensohle gemacht, wenn diese für die Beurteilung des Klauengesundheitszustandes vom Klauenpflegepersonal angehoben wurden. Zur Beurteilung entwickelte WILHELM (2010) einen Klauenscore der auf der Beurteilung sichtbarer Veränderungen durch die Erkrankung jeder Klaue beruht. Je höher

dieser Klauenscore ist, desto schlechter ist der Klauengesundheitszustand. Anhand dieses Scores konnte WILHELM (2010) eine Verschlechterung der Klauengesundheit in ersten zwei Laktationsmonaten feststellen. Ein Anstieg der mittels IR-Thermographie ermittelten Klauensohlentemperatur konnte jedoch nur bei den Jungkühen nachgewiesen werden. Bei den Altkühen hingegen zeigten sich in der ersten Woche nach der Abkalbung höhere Klauensohlentemperaturen als in der achten Woche. Darüber hinaus konnten auch keine aussagekräftigen Korrelationen zwischen der Klauensohlentemperatur und dem Klauenscore ermittelt werden (WILHELM, 2010). NIKKHAH ET AL. (2004, 2005) legten ihre Untersuchung breiter über die Laktation an, indem sie IR-Aufnahmen der Klauen am Kronsaum und einer behaarten Stelle über dem Kronsaum von Kühen in der frühen bis mittleren Laktation (9 bis 200 Tage p.p.) und der späten Laktation (>200 Tage p.p.) auswerteten. Dabei fanden sie eine höhere Differenztemperatur (Kronsaumtemperatur und Temperatur an behaarter Stelle über Kronsaum) bei Kühen der frühen bis mittleren Laktation als bei Kühen der späten Laktation. Ebenso war auch die festgestellte Kronsaumtemperatur bei den Tieren der frühen bis mittleren Laktation höher (25,2°C vs. 21,8°C). NIKKHAH ET AL. (2004, 2005) begründeten die erhöhte Kronsaumtemperatur mit dem signifikant häufigeren Auftreten von Druckstellen in der frühen bis mittleren Laktation.

#### 2.3.3.3 *Fieber*

Um Erkrankungen zu erkennen, die mit Fieber einhergehen, ist es notwendig, festzustellen, ob eine Korrelation zwischen den Oberflächentemperaturen der IR-Thermographie und den gemessenen Rektaltemperaturen besteht. In der Untersuchung von BERRY ET AL. (2003) wurden dafür IR-Aufnahmen von zehn Kühen in verschiedenen Laktationsstadien an 31 Tagen ausgewertet. Die Tiere befanden sich dabei in Anbindehaltung und bekamen täglich zwei Stunden Auslauf. BERRY ET AL. (2003) stellten daraufhin eine positive Korrelation von der Euteroberflächentemperatur und der Rektaltemperatur für sechs von zehn Kühen vor dem Auslauf sowie für acht von zehn Kühen nach dem zweistündigen Auslauf fest. Dabei war die Euteroberflächentemperatur 3 bis 5 K geringer als die Rektaltemperatur. Auch COLAK ET AL. (2008) verglichen die Euteroberflächentemperatur mit der Rektaltemperatur und stellten ebenfalls fest, dass die maximale Euteroberflächentemperatur geringer ist als die Rektaltemperatur (34,04°C vs. 38,47°C). Hierbei ergab sich eine Korrelation von  $r=0,24$  (COLAK ET AL., 2008). Eine weitaus höhere Korrelation ( $r=0,98$ ) zwischen der maximalen Euteroberflächentemperatur und der Rektaltemperatur fanden dagegen HOVINEN ET AL.

(2008). Ähnlich hoch war auch die Korrelation zwischen der mittleren Euteroberflächentemperatur und der Rektaltemperatur ( $r=0,92$ ) in der gleichen Untersuchung (HOVINEN ET AL., 2008).

RAINWATER-LOVETT ET AL. (2008) untersuchten die maximale Klauenoberflächentemperatur und die maximale Augenoberflächentemperatur von Ochsen und setzten diese ins Verhältnis zur gemessenen Rektaltemperatur. Dabei betrug die Korrelation zwischen der Klauenoberflächentemperatur und Rektaltemperatur  $r=0,53$  sowie für die Augenoberflächentemperatur und die Rektaltemperatur  $r=0,50$  (RAINWATER-LOVETT ET AL., 2008). Dahingegen konnten AHNERT & RICHTER (2007) keine Korrelation zwischen der Klauenoberflächentemperatur und der Rektaltemperatur feststellen. Jedoch fanden auch sie eine Korrelation von der Euteroberflächentemperatur und der Rektaltemperatur von  $r=0,42$ . Darüber hinaus untersuchten sie auch die Oberflächentemperatur im Bereich des Rektums und errechneten hierfür eine Korrelation von  $r=0,34$  (AHNERT & RICHTER, 2007). Letztlich stellten sie die Oberflächentemperatur von Kühen mit normaler Körpertemperatur der von Kühen mit Fieber (Rektaltemperatur  $>39,5^{\circ}\text{C}$ ) gegenüber und ermittelten, dass bei Kühen mit Fieber die Oberflächentemperatur sowohl im Bereich des Euters als auch im Bereich des Rektums ca. 1,5 K gegenüber Kühen mit normaler Körpertemperatur erhöht ist und damit ein Auffinden fieberkranker Tiere mit Hilfe der IR-Thermographie möglich sein sollte (AHNERT & RICHTER, 2007).

### *2.3.4 Einflüsse auf IR-Thermographie*

In ihren Untersuchungen stellten die verschiedenen Autoren die unterschiedlichsten Einflussfaktoren auf die Messung der Oberflächentemperatur mittels IR-Thermographie dar. Dazu zählen Einflüsse durch die Umgebung, die Tageszeit der Messung sowie das Tier selbst. In der Veröffentlichung von WILLITS (2005) wird dahingehend eine sehr treffende Frage gestellt: „Wann soll die Kuh thermographiert werden?“

1. Antwort: Kühe, die gerade den Melkstand betreten

ABER: sie werden höchst wahrscheinlich Artefakte produzieren, aufgrund von Bewegung, Feuchtigkeit durch Wetter, Schmutz, Kot, Urin, kürzliche Aussetzung direkten Sonnenlichts

2. Antwort: Kühe vor dem Melken

ABER: ähnliche Probleme wie oben, da Zitzen nass gereinigt

3. Antwort: Kühe direkt nach dem Melken

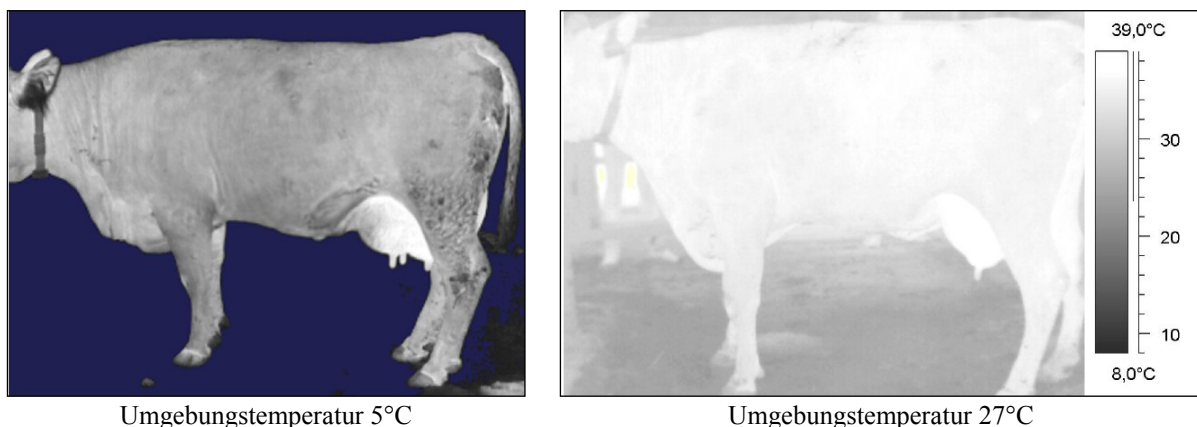
ABER: das sieht der Autor ebenfalls problematisch, da durch Stimulation und Belastung des Melkzeugs die Temperatur wahrscheinlich erhöht ist

Die Antwort scheint schwierig zu beantworten. Dabei helfen sollen weitere Literaturquellen, die dahingehend untersucht wurden.

### *Umgebung*

Die mittels IR-Thermographie gemessene Oberflächentemperatur eines Tieres ist abhängig von verschiedenen Faktoren. Dazu gehören die Umgebungstemperatur, die Luftbewegung (Windgeschwindigkeit), die Luftfeuchtigkeit und die Globalstrahlung (BARTH, 2000; 2001; RÖBNER, 2005; COLAK ET AL., 2008). Ab einer Umgebungstemperatur von 15°C steigt mit weiter steigender Umgebungstemperatur auch die Körpertemperatur des Rindes signifikant an (RÖBNER, 2005). Deshalb empfiehlt SCHAEFER ET AL. (2004), dass die Umgebungstemperatur für die IR-Aufnahmen innerhalb der thermoneutralen Zone des Tieres liegen sollte. Das heißt in dem Temperaturbereich, indem Tiere ohne verstärkte Wärmeabgabe oder -produktion ihre Körpertemperatur auf normalem Niveau halten können. Weiterhin sollten sich die Tiere an die Umgebung, wo thermographiert wird, akklimatisieren können. Nach SCHAEFER ET AL. (2004) sind dafür mindestens zehn Minuten nötig. In der Untersuchung von COLAK ET AL. (2008) wurden die Milchkühe sogar 30 Minuten vor IR-Thermographie in einen abgedunkelten temperierten Raum verbracht, wo anschließend die IR-Aufnahmen stattfanden. Diese Aussagen beruhen auf der Tatsache, dass zwischen der Umgebungstemperatur und der

Oberflächentemperatur ein Zusammenhang besteht. So gibt RÖBNER (2005) für diese Beziehung zwischen der Umgebungstemperatur und der Körpertemperatur eine Korrelation von  $r=0,522$  an. Bei WILHELM (2010) ist die Korrelation zwischen Klauensohlentemperatur der hinteren Klauen und Umgebungstemperatur mit  $r=0,764$  noch höher. Die Korrelation zwischen Klauensohlentemperatur der vorderen Klauen und der Umgebungstemperatur ist ähnlich hoch ( $r=0,599$ ; WILHELM, 2010). Weiterhin beschreibt RÖBNER (2005), dass die Oberflächentemperatur im Euterbereich stärker von der Umgebungstemperatur abhängig ist als im Rumpfbereich, da das Euter weiter vom Körperkern entfernt ist. Daher sollte der Einfluss der Umgebungstemperatur auf die Klauen noch größer sein als beim Euter. Jedoch beeinflusst die Umgebungstemperatur nicht nur das Tier sondern auch die Technik. Bei hohen Umgebungstemperaturen und damit auch hoher Körpertemperatur wird der Kontrast zwischen Tier und Umgebung sehr gering. Damit wird die Erkennung und Einzeichnung von bestimmten Körperregionen deutlich erschwert (KNIZKOVA ET AL., 2007; siehe Abbildung 13).



**Abbildung 13: Temperaturprofil einer Kuh bei verschiedenen Umgebungstemperaturen**  
Quelle: KNIZKOVA ET AL. (2007)

GLAS (2008) konnte zwischen der Luftfeuchte und der maximalen Oberflächentemperatur sowie der durchschnittlichen Oberflächentemperatur am Euter keinen Zusammenhang finden. RÖBNER (2005) beschreibt den Zusammenhang zwischen der Oberflächentemperatur und der Windgeschwindigkeit. Erklärt wird die Abhängigkeit insofern, dass bei starkem Wind die Oberflächentemperatur sinkt, da die Wärmeabgabe über Konvektion deutlich erhöht wird (RÖBNER (2005)).

### *Tageszeit*

Die Abhängigkeit der Körpertemperatur von der Tageszeit wurde in Kapitel 2.2.3 (S. 12) bereits beschrieben. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass auch die Oberflächentemperatur vom Tageszeitpunkt der Messung abhängig ist. Aufgrund des circadianen Rhythmus der Körpertemperatur weist SCHAEFER ET AL. (2004) darauf hin, dass bei IR-Aufnahmen an mehreren Tagen darauf zu achten ist, dass die Bilder zur gleichen Tageszeit gemacht werden. Einen Einfluss des circadianen Rhythmus wiesen auch BERRY ET AL. (2003) nach. In ihrer Untersuchung fanden sie einen monophasischen circadianen Rhythmus der Oberflächentemperatur des Euters. Dabei war die Euteroberflächentemperatur am späten Nachmittag bzw. frühen Abend am höchsten und zwischen 4:00-6:00 Uhr morgens am niedrigsten (BERRY ET AL., 2003). Auch GLAS (2008) fand Temperaturschwankungen im Tagesverlauf eutergesunder Tiere allerdings mit tierindividuellen Unterschieden. Weiterhin fand sie heraus, dass die maximale Oberflächentemperatur innerhalb eines Tages um 0,5 K schwankt und dass diese Schwankungen weniger stark sind als bei der durchschnittlichen Oberflächentemperatur (0,9 K). So schlussfolgerte sie, dass der circadiane Rhythmus der Körpertemperatur auch an der Oberflächentemperatur des Euters vorhanden ist (GLAS, 2008). Dabei weist die Mehrheit der Tiere morgens geringere Oberflächentemperaturen auf als abends (GLAS, 2008). So liegt die Oberflächentemperatur zwischen 5:30 und 8:30 Uhr morgens unter dem Tagesdurchschnitt sowie zwischen 19:30 und 21:30 Uhr über dem Tagesdurchschnitt (GLAS, 2008). AHNERT & RICHTER (2007) hingegen ermittelten morgens höhere Oberflächentemperaturen an den Klauen, im Bereich des Euters, im Bereich des Rektums und an den Augen als abends. Bei den Klauen betrug der Temperaturunterschied ca. 0,3 K sowie an Euter und Rektum ca. 0,5 K.

### *Tier*

Auch das Tier selbst beeinflusst die gemessene Oberflächentemperatur. So verweisen SCHAEFER ET AL. (2004) darauf, dass sich die Tiere vor den IR-Aufnahmen möglichst in Ruhe befinden sollten, es keine Erwärmungen aufgrund von Nahrungsaufnahme (Verdauung) geben sollte und Einflüsse wie Staub auf dem Tier, Narbengewebe, ungleichmäßiges Fell/ Felllänge, Salben und Verbände vermieden werden sollten. COLAK ET AL. (2008) nennen als Faktoren, die die IR-Thermographie beeinflussen und die in ihrer Studie möglicherweise hätten berücksichtigt werden müssen: Hautbeschaffenheit, physiologischer Status, Produktionsniveau der Kuh, Zeit relativ zu Fütterung und Melkung.

Das Fell bzw. die Hautbeschaffenheit wird auch in den Studien von BARTH (2000, 2001) und RÖBNER (2005) als Einflussfaktor genannt. Dabei geht RÖBNER (2005) näher auf die unterschiedlichen Emissionseigenschaften von schwarzem und weißem Fell ein. In den Untersuchungen von GLAS (2008) und HOVINEN ET AL. (2008) wurde vor den IR-Aufnahmen die Euterbehaarung mit der Schermaschine geschnitten.

Weiterhin nennt RÖBNER (2005) die Verschmutzung der betrachteten Körperstelle als Einflussfaktor, da bei starker Verschmutzung die Wärmestrahlung erschwert wird und die Oberflächentemperatur somit geringer erscheint. Aufgrund dessen erfolgte bei GLAS (2008) auch vor jeder IR-Aufnahme die Reinigung des Euters, z.T. sogar mit einem feuchten Lappen. Nach feuchter Reinigung wurde gewartet, bis das Euter wieder trocken war, bevor die IR-Aufnahme stattfand.

Bei der Untersuchung des Produktionsniveaus der Kuh konnte RÖBNER (2005) keinen Zusammenhang zwischen der Milchleistung und der Körpertemperatur sowie der Oberflächentemperatur im Euterbereich feststellen. Auch zwischen dem Body Condition Score und der Oberflächentemperatur bestand keine Beziehung (RÖBNER, 2005).

Der Melkvorgang beeinflusst die Oberflächentemperatur des Euters nur in geringem Maße. Zu dieser Schlussfolgerung kommt GLAS (2008), da die Temperaturdifferenzen zwischen vor und nach dem Melken nur sehr gering waren (maximale Oberflächentemperatur -0,05 K; durchschnittliche Oberflächentemperatur 0,21 K).

BERRY ET AL. (2003) wiesen einen Einfluss der Aktivität des Tieres auf die Oberflächentemperatur nach, da sie eine signifikant ( $p < 0,05$ ) höhere Eutertemperatur nach dem zweistündigen Auslauf der Tiere feststellten als zuvor (32,42°C vs. 34,46°C) und das obwohl die Umgebungstemperatur im Stall höher als im Auslauf.

Einen weiteren wichtigen Einflussfaktor fanden HURNIK ET AL. bereits im Jahr 1985 – die Brunst. Sie untersuchten 27 Kühe in der zweiten Woche p.p. bis 90 Tage p.p. und erstellten von ihnen täglich IR-Aufnahmen der gluteal Region (Rektum, Vulva, Euteransatz). Dabei wurde der Schwanz weggehalten und im Anschluss an die IR-Aufnahme die Vaginaltemperatur gemessen sowie jeden zweiten Tag der Milchprogesterongehalt bestimmt. Dabei erschien die Fläche (Anzahl Pixel) mit 37°C am größten während Brunst und zeigte ihre kleinste Ausdehnung nach der Brunst (HURNIK ET AL., 1985). Die Fläche mit 37°C erschien den Autoren als aussagekräftigster Parameter, da bei 93% der Kühe eine Veränderung dieses Parameters erkennbar war (HURNIK ET AL., 1985). Dabei zeigte sich allerdings eine große individuelle Variabilität. Zudem zeigten alle Parameter (Oberflächentemperatur, Milchprogesteron, Vaginaltemperatur) keine signifikanten

Änderungen während der ersten Brunst. Bei der zweiten beobachteten Brunst änderten sich die Fläche 37°C und die maximale Oberflächentemperatur signifikant. Erst bei der dritten Brunst konnten signifikante Änderungen für alle Parameter festgestellt werden (HURNIK ET AL., 1985). Daraufhin erstellten die Autoren einen Algorithmus zur Brunsterkennung anhand der IR-Aufnahmen: die Brunst gilt als erkannt, wenn die Fläche 37°C um 25% im Vergleich zu den vier Tagen um die Brunst vergrößert ist. Damit erhöhten sie im Vergleich zur normalen Brunstbeobachtung die Erkennungsrate während der ersten 50 Tage p.p. (HURNIK ET AL., 1985). Ab dem 60. Tag p.p. ist die IR-Thermographie nach Aussagen der Autoren allerdings weniger effektiv als die Brunstbeobachtung. Von den insgesamt 18 Kühen mit der dritten Brunst konnten 78% mittels IR-Aufnahmen erkannt werden. Jedoch wurden 33% falsch positive Ergebnisse angezeigt aufgrund von sporadischen Erkrankungen, die eine Erhöhung der Fläche 37°C hervorriefen. Als wichtigste Einflussfaktoren auf die IR-Thermographie zur Brunsterkennung hielten die Autoren fest: die gescannte Körperstelle muss trocken sein und Erkrankungen (Temperaturerhöhung an der gescannten Stelle) müssen ausgeschlossen werden können (HURNIK ET AL., 1985).



## **2.4 Automatische Gesundheitsüberwachung bei Milchkühen**

Im Zuge der zunehmenden Automatisierung in den Milchproduktionsbetrieben werden auch immer wieder neue Ansätze zur automatisierten Überwachung der Tiergesundheit entwickelt. Mit der Automatisierung des Melkprozesses durch den Einsatz von Melkrobotern wurde die automatisierte Überwachung der Eutergesundheit unabdingbar. Daher gibt es entsprechend viele Untersuchungen, die sich mit verschiedenen Parametern zur Einstufung des Eutergesundheitszustandes beschäftigen. Bei der Klauengesundheit und dem Allgemeinzustand (Fieber) hingegen ist die Automatisierung noch weniger weit fortgeschritten. Neuere Ansätze zur automatisierten Tiergesundheitsüberwachung im Milchviehbestand beschäftigen sich mit der Beobachtung des Tierverhaltens, was bei Veränderung auch Rückschlüsse auf den Gesundheitszustand des Tieres zulässt (KINDLER, 2010).

Zur Bewertung der Leistungsfähigkeit der Gesundheitsüberwachungssysteme wird der diagnostische Test herangezogen. Dabei sind die Validitätsmaße Sensitivität und Spezifität ausschlaggebend. Die Sensitivität gibt den Anteil der anhand des Systems als erkrankt identifizierten Tiere an allen erkrankten Tieren an (Anteil richtig positiver). Die Spezifität hingegen ist der Anteil der nicht erkrankten Tiere von allen nicht erkrankten Tieren, die vom System auch solche erkannt wurden (Anteil richtig negativer Tiere). Ein automatisches Gesundheitsüberwachungssystem soll möglichst eine hohe Sensitivität und gleichzeitig eine hohe Spezifität erreichen.

### *Euter*

Die Parameter zur Überwachung der Eutergesundheit werden aus den Daten des Melkprozesses gewonnen. Nach GEIDEL (2007) sind diese:

- visuelle Kontrolle des Vorgemelks durch das Melkpersonal in konventionellen Melksystemen
- Bestimmung der Somatischen Zellzahl aus Milchleistungsprüfung oder Einzeltiermessungen im Stall, automatisiert im AMS
- Schalm-Mastitis-Test / California-Mastitis-Test (Zellzahl)
- Milchbildungsrate
- Messung der elektrischen Leitfähigkeit
- Messung der Milchfarbe

Die genannten Parameter sind hinsichtlich ihrer Eignung zur Eutergesundheitsüberwachung zum Teil sehr unterschiedlich einzustufen (WIEDEMANN, 2004). Da eine ganzheitlich automatisierte Eutergesundheitsüberwachung derzeit nur in Automatischen Melksystemen stattfindet, sollen an dieser Stelle auch nur Untersuchungen aus diesen Systemen genannt werden (siehe Tabelle 6 und Tabelle 7). Aus den genannten Tabellen geht hervor, dass bis zum Jahr 2004 zum Teil sehr geringe Sensitivitäten bei hohen Spezifitäten (ca. 90%) erreicht wurden (WIEDEMANN, 2004). Die Untersuchung aus dem Jahr 2011 hingegen ergab hohe Sensitivitäten bei nur mäßig hohen bis geringen Spezifitäten (BRANDT ET AL., 2001).

**Tabelle 6: Erkennung von Mastitis bzw. abnormaler Milch in Automatischen Melksystemen (Stand: 2004)**

erfasste Parameter Zeitpunkt des Warnhinweises	Sensitivität (%)	Spezifität (%)	Grenzwert	Quelle
<b>Leitfähigkeit (LF)</b> – aktuelle Melkung	40-46	87-92	200.000 Zellen/ml	BIGGADIKE ET AL. (2002)
	51-54	85-91	400.000 Zellen/ml	
<b>LF und Milchfarbe</b> – aktuelle Melkung	17	99	Mastitis nach DVG	KÖHLER (2002)
<b>LF und Milchmenge</b> – aktuelle Melkung – innerhalb der letzten 10 Melkungen	12-31	k.A.	400.000 Zellen/ml (im VAG)	HOVINEN ET AL. (2004)
	24-36	k.A.		
<b>LF und Milchfarbe</b> – aktuelle Melkung – innerhalb der letzten 10 Melkungen	2-8	k.A.	400.000 Zellen/ml (im VAG)	
	5-10	k.A.		
<b>Leitfähigkeit (LF)</b> – aktuelle Melkung – am gleichen Tag – innerhalb vergangenen Woche	13-50	87-100	abnormale Milch	RASMUSSEN (2004)
	22-100	85-100		
	43-100	35-100		

VAG = Viertelanfangsgemelk

DVG = Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft

Quelle: WIEDEMANN (2004)

**Tabelle 7: Erkennung von Mastitis bzw. abnormaler Milch in Automatischen Melksystemen (Stand: 2011)**

Betrieb	klinische Mastitis		SCC <sup>1</sup> > 100.000 Zellen/ml, Erregernachweis positiv		SCC <sup>1</sup> > 500.000 Zellen/ml, Major Pathogen	
	Sensitivität (%)	Spezifität (%)	Sensitivität (%)	Spezifität (%)	Sensitivität (%)	Spezifität (%)
D1	80	19	90	22	100	20
D2	50	52	57	54	72	54
D3	86	36	64	34	68	34
D4	71	58	53	60	55	57
L1	50	87	14	87	50	89
L2	71	71	39	72	58	72
L3	100	8	96	10	88	8
L4	50	90	25	96	35	92
S1	43	60	34	58	71	60
S2	92	49	63	50	83	49
S3	83	54	64	60	72	57
S4	57	46	87	47	100	46

<sup>1</sup> SCC: geometrischer Mittelwert aus drei Probenahmen

D1-D4: Betriebe mit Melksystem von DeLaval; Alarm ist Kombination aus Leitfähigkeit, Bluterkennung und Milchmenge auf Viertelebene

L1-L4: Betriebe mit Melksystem von Lely; kombinierter Alarm aus Alarmen der Leitfähigkeit und der Farbmessung, kombiniert durch „ODER“-Funktion

S1-S4: Betriebe mit Melksystem von SAC; Alarm basierend auf Leitfähigkeit

Quelle: BRANDT ET AL. (2011)

### *Klauen*

Zur Überwachung der Klauengesundheit bei Rindern gibt es derzeit nur wenige Möglichkeiten. Zum einen wird der Gang der Tiere manuell über Beobachtung eingeschätzt. Die Verfahren, die zur Anwendung kommen, wurden von SPRECHER ET AL. (1997) sowie von WINCKLER & WILLEN (2001) entwickelt. Problematisch bleibt bei dieser Methode, dass Rinder Fluchttiere sind und deshalb eine Lahmheit erst zeigen, wenn die Klauenerkrankung schon weit fortgeschritten ist. Da es in der wissenschaftlichen Literatur keine Angaben zur Sensitivität und Spezifität dieses Verfahrens hinsichtlich der Erkennung von Klauenerkrankungen gibt, bleibt diese Methode fraglich.

Das zweite Verfahren, das zur Überwachung der Klauengesundheit bei Milchkühen eingesetzt wird, ist die StepMetrix<sup>TM</sup> der Firma Boumatic. Auch dieses System arbeitet auf der Basis der Erkennung von Lahmheiten. Grundlage hierfür ist ein Wiegeplattensystem, das den Druck der einzelnen Gliedmaßen beim darüber Laufen der Tiere misst. Bei einer vorliegenden Lahmheit werden die einzelnen Gliedmaßen unterschiedlich stark belastet und so die Lahmheit erkannt. In der wissenschaftlichen Literatur finden sich auch für dieses System keine Angaben zur Sensitivität und Spezifität hinsichtlich der Erkennung von Klauenerkrankungen. Damit kann die Leistungsfähigkeit dieses Systems nicht eingeschätzt werden.

In der Entwicklung befinden sich derzeit Überwachungssysteme anhand von Videoaufnahmen (POURSABERI ET AL. 2010; XIANGYU ET AL., 2008), Beschleunigungsmessung (PASTELL ET AL., 2009) sowie Bewegungsaktivität und Liegeverhalten (ALSAAOD & BÜSCHER, 2011). Jedoch sind diese Systeme noch nicht praxisreif, sodass für die Einschätzung des Klauengesundheitszustandes derzeit kein zuverlässiges Überwachungssystem existiert.

### *Fieber*

Automatisierte Systeme zur Messung der Körpertemperatur und damit zur Überwachung des Allgemeinzustandes (Fieber) der Tiere gibt es in der Rinderhaltung derzeit nicht. Die Methode zur Überprüfung der Körpertemperatur ist die Messung der Rektaltemperatur mit einem Digitalthermometer. Da dies sehr arbeitsaufwendig ist, wird die Überwachung in den Betrieben stark beschränkt. Das heißt, es wird die Körpertemperatur nur der Milchkühe in den ersten fünf bis zehn Tagen nach der Kalbung routinemäßig gemessen. Wünschenswert wäre jedoch ein automatisches System zur Messung und Überwachung der Körpertemperatur der Milchkühe in allen Laktationsstadien vor allem in großen Beständen.

### **3 Ergebnisse**

Im nächsten Kapitel der vorliegenden Arbeit soll zunächst auf die Messung der Oberflächentemperatur (Versuchsanstellung) eingegangen werden. Anschließend werden die Abhängigkeit der Oberflächentemperatur von Einflussfaktoren sowie ihr Zusammenhang zu bestimmten Referenzparametern der Tiergesundheit beschrieben. Abschließend wird betrachtet, inwiefern sich die Oberflächentemperatur für ein Gesundheitsmonitoring (Identifizierung erkrankter Tiere) für Milchkühe eignet.

Dabei werden für jeden Teilabschnitt zunächst die angewendeten Methoden sowie der Umfang der Daten beschrieben, bevor die Ergebnisse der statistischen Auswertung dargestellt sind.

#### **3.1 Oberflächentemperatur**

##### *3.1.1 Versuchsbetriebe*

Die Untersuchungen der mittels IR-Thermographie erfassten Oberflächentemperaturen und deren Nutzung für ein Gesundheitsmonitoring in Milchviehherden erfolgten an Kühen der Rasse Holstein-Friesian Schwarzbunt in drei Produktionsbetrieben im Freistaat Sachsen (siehe Tabelle 8).

Betrieb 1 ließ sich durch einen Durchschnittskuhbestand von etwa 1.900 Milchkühen charakterisieren. Dabei erfolgte das Melken der gesamten Herde zweimal täglich mit einem Melkkarussell des Typs Side-by-Side mit 48 Melkplätzen.

Betrieb 2 besaß einen Durchschnittskuhbestand von 395 Milchkühen. Gemolken wurden die Tiere in einem Doppel-12er-Fischgrätenmelkstand. Dabei wurden die hochleistenden Kühe dreimal täglich gemolken, die übrigen Tiere zweimal am Tag.

Betrieb 3 hatte einen Durchschnittskuhbestand von 1.600 Milchkühen. Gemolken wurde die gesamte Herde dreimal täglich in einem Melkkarussell des Typs Side-by-Side mit 40 Plätzen.

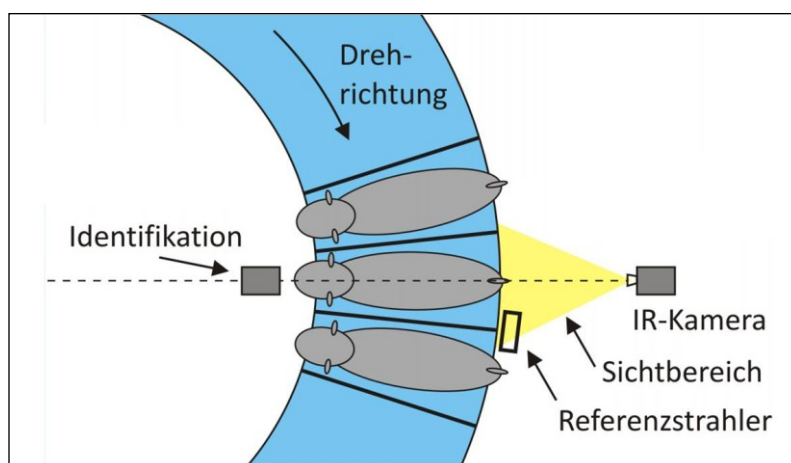
**Tabelle 8: Charakteristik der Versuchsbetriebe**

	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 3
Durchschnittskuhbestand	1.900	395	1.600
Melkdurchschnitt nach MLP (MW $\pm$ SD in kg Milch/Kuh+Tag)	26,7 $\pm$ 10,4	30,4 $\pm$ 9,9	29,1 $\pm$ 9,8
Melkstandtyp	Karussell (Side-by-Side)	Fischgräte	Karussell (Side-by-Side)
Melkplätze	48	24 (D-12)	40
Melktechnik	DeLaval	DeLaval	GEA

### 3.1.2 Versuchsanordnung

In Betrieb 1 und 3 wurde zur Messung der Oberflächentemperatur die IR-Kamera in den Melkstand integriert. Dafür wurde sie gegenüber dem Melkkarussell fest installiert und so die Tiere zu den Melkzeiten thermographiert (siehe Abbildung 14). Durch diese Positionierung der IR-Kamera konnte neben einem konstanten Abstand zwischen Tier und Kamera auch eine annähernd gleichbleibende Tierposition gewährleistet werden. Dabei zeigen die IR-Bilder die Hinteransicht der „vorbeifahrenden“ Kühe (siehe Abbildung 15).

In Betrieb 2 wurde die IR-Kamera im Bereich des Melkstandaustriebes aufgestellt. Zur Thermographie der Tiere wurden diese bei Austrieb aus dem Melkstand zunächst vereinzelt und dann nacheinander an der Kamera vorbeigeführt, sodass auch diese IR-Bilder die Hinteransicht der Kühe wiedergeben.



**Abbildung 14: Anordnung zur Messung der Oberflächentemperatur in Betrieb 1 und 3**



**Abbildung 15: Hinteransicht der Kuh im IR-Bild**

In den drei Versuchsbetrieben wurde die IR-Kamera PYROVIEW 640L compact der Firma DIAS Infrared GmbH eingesetzt. Nach Herstellerangaben wird die Strahlungstemperatur im infraroten Spektralbereich von 8 bis 14  $\mu\text{m}$  gemessen und dabei speziell ein Temperaturbereich von  $-20^{\circ}\text{C}$  bis  $120^{\circ}\text{C}$  abgedeckt. Der in der Kamera enthaltene Sensor war ein ungekühltes thermisches Array mit Mikrobolometern (640 x 480 Pixel). Dieser Sensor versprach im angegebenen Spektralbereich ein sehr gutes thermisches und räumliches Auflösungsvermögen. Bei alleinigem Einsatz der Kamera wurde vom Hersteller eine Messunsicherheit von 2 K angegeben. Da diese Messunsicherheit zur automatischen Gesundheitsüberwachung zu hoch ist, wurde im Bildbereich der Kamera ein Referenzstrahler angebracht, welcher der gemessenen Wärmestrahlung der Körperoberfläche eine Temperaturzuordnung ermöglichte (siehe Abbildung 16). Durch den Einsatz des Referenzstrahlers konnte die Messunsicherheit deutlich reduziert werden und betrug im Versuch damit nur noch 0,5 K (WIRTHGEN ET AL. 2011a). Der Emissionsgrad ( $\varepsilon$ ) wurde auf 0,95 festgelegt.







	IR-Kamera	Referenzstrahler
Betrieb 1		
Betrieb 2		
Betrieb 3		

Abbildung 16: IR-Kamera Pyroview 640L compact und Referenzstrahler am Melkstand



### *3.1.3 Bildauswertung*

Für die Auswertung der IR-Bilder mussten diese zunächst den einzelnen Tieren eindeutig zugeordnet werden. Die Zuordnung wurde in Betrieb 1 und 3 automatisch sowie in Betrieb 2 manuell umgesetzt. Für die automatische Zuordnung waren an jedem Melkplatz der Melkkarusselle Barcodes angebracht, die von einem Scanner in Kameranähe erfasst wurden. Mit Hilfe der Herdenmanagementsoftware, die den Platz im Melkstand sowie die Uhrzeit des Melkens tierindividuell dokumentiert, und dem vom Barcodescanner vergebenen Zeitstempel für die IR-Bilder eines jeden Melkplatzes konnten die IR-Bilder den entsprechenden Tieren automatisch zugeordnet werden. Bei der manuellen Zuordnung in Betrieb 2 wurden die Tiernummern und die dazugehörigen IR-Bildnummern erfasst.

Nach abgeschlossener Zuordnung wurden die IR-Bilder mit einer vom Fraunhofer Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme (Sitz: Dresden) speziell entwickelten Bildanalyse-Software eingelesen. Die eingesetzte IR-Kamera besaß eine Aufnahmefrequenz von 50 Hz (entspricht 50 Bildern pro Sekunde). Beim Vorbeifahren bzw. Vorbeiführen an der Kamera befanden sich die Tiere ca. 8 bis 10 Sekunden im Aufnahmebereich der Kamera. Von den IR-Bildern wurden fünf ausgewählt. Die Auswahl beschränkte sich dabei auf Bilder, bei denen sich die Tiere mittig im Bildbereich befanden und keine der zu untersuchenden Körperregionen durch das Melkzeug, den Schwanz der Tiere, vor der Kamera vorbeilaufende Personen oder ähnliches verdeckt waren.

Daraufhin konnten in die IR-Bilder fünf für die Gesundheitsüberwachung als interessant eingestufte Körperregionen eingezeichnet werden. Zu diesen Regionen zählten das linke hintere Euterviertel (Euter HL), das rechte hintere Euterviertel (Euter HR), Fläche auf Höhe des Euters am linken Schenkel (Schenkelfläche), Fläche unterhalb der Afterklauen an der linken hinteren Extremität (Klaue HL), Fläche unterhalb der Afterklauen an der rechten hinteren Extremität (Klaue HR). Veranschaulicht wird ein IR-Bild mit den eingezeichneten interessanten Körperregionen in Abbildung 17.



- 1 – Euter HL
- 2 – Euter HR
- 3 – Schenkelfläche
- 4 – Klaue HL
- 5 – Klaue HR

**Abbildung 17: IR-Bild mit eingezeichneten interessanten Körperregionen**

Die Flächen der hinteren Eutervierviertel wurden zur Bestimmung des Eutergesundheitszustandes herangezogen. Dabei wurde bei der Einzeichnung dieser Flächen darauf geachtet, dass diese einen möglichst großen Ausschnitt des Eutervierviertels umfassen und der tatsächlichen Form (Polygon) entsprechen. Nicht mit einbezogen wurde dabei der Euter-Schenkel-Spalt (Bereich direkt an der linken bzw. rechten Begrenzung des Euters zum Schenkel hin), da diese Region immer deutlich wärmer ist als die übrige Euterfläche und somit die aus den eingezeichneten Flächen generierten Oberflächentemperaturen verfälschen würde.

Die Schenkelfläche wurde ausgewählt, da davon ausgegangen werden kann, dass diese Fläche unbeeinflusst von Entzündungsprozessen im Euter und an den Klauen ist, aber dennoch die Veränderung der Körpertemperatur bei auftretendem Fieber widerspiegelt. Grundlage dieser Fläche ist ein Rechteck, das in etwa auf der Höhe der Euterflächen am linken Schenkel im Bild eingezeichnet wurde.

Bei den Flächen Klaue HL und Klaue HR lag das Augenmerk auf der Eingrenzung der Flächen unterhalb der Afterklauen und oberhalb des sichtbaren Ballenhorns. Sowohl die Afterklauen als auch das Ballenhorn weisen im IR-Bild eine geringe Temperatur auf, da sie oberflächlich nicht durchblutet sind. Daher wurde die gut durchblutete Fläche zwischen

beiden Begrenzungen als ovale interessante Körperregion für die Bestimmung des Klauengesundheitszustandes herangezogen.

In Betrieb 2 konnten aufgrund eines anderen Melkstandtyps zusätzlich zu den hinteren Extremitäten auch die vorderen mit betrachtet werden. So wurden in diesem Betrieb neben Klaue HL und Klaue HR auch die Flächen der Klauen vorn links (VL) sowie vorn rechts (VR) in den IR-Bildern markiert.

In Betrieb 3 wurde die Bildauswertung vollständig automatisch von einer weiteren speziell vom Fraunhofer Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme (Sitz: Dresden) dafür entwickelten Software übernommen. Die Arbeit dieser Auswertungssoftware wird ausführlich bei WIRTHGEN ET AL. (2011b) beschrieben. Anzumerken ist, dass die Software bei der Kennzeichnung der fünf interessanten Körperregionen nach den gleichen zuvor beschriebenen Kriterien der manuellen Einzeichnung vorging.

### 3.1.4 Messreihen

Die Oberflächentemperaturen wurden in insgesamt sechs verschiedenen Messreihen ermittelt. Dazu wurden die Tiere in Messreihe 1 zur Morgen- und Abendmelkzeit, in allen anderen Messreihen nur noch zu einer Melkzeit pro Tag von der IR-Kamera aufgenommen, so dass täglich abhängig von der Messreihe ein oder zwei Messungen durchgeführt wurden. Anschließend wurden die Temperaturen für die interessanten Körperregionen wie oben beschrieben herausgefiltert (siehe Kapitel 3.1.3). So wurden pro Messzeit Datensätze getrennt nach Körperregion gebildet, die neben den Oberflächentemperaturen, die Messzeitnummer und die Nummer des Tieres enthielten. Der Umfang der einzelnen Messreihen und die Datensätzen für die jeweilige interessante Körperregion sind in Tabelle 9 dargestellt.

**Tabelle 9: Übersicht der Messreihen hinsichtlich IR-Kenngrößen**

Bezeichnung/ Ort/Zeitraum	Umfang	Anzahl IR-Daten	
Messreihe 1 Betrieb 1 20.04.-13.05.2009	41 Messzeiten N=160 Tiere	<i>Euter HL:</i> <i>Euter HR:</i> Summe Euter: Schenkelfläche: <i>Klaue HL:</i> <i>Klaue HR:</i> Summe Klauen:	4.202 4.184 8.386 4.221 3.863 4.173 8.036
Messreihe 2 Betrieb 1 15.-16.12.2009	1 Messzeit N=84 Tiere	<i>Klaue HL:</i> <i>Klaue HR:</i> Summe Klauen:	84 84 168
Messreihe 3 Betrieb 1 06.05.-09.07.2010	65 Messzeiten N=249 Tiere	<i>Euter HL:</i> <i>Euter HR:</i> Summe Euter: Schenkelfläche:	7.667 7.660 15.327 7.665
Messreihe 4 Betrieb 2 27.-29.09.2010	1 Messzeit N=138 Tiere	<i>Klaue HL:</i> <i>Klaue HR:</i> <i>Klaue VL:</i> <i>Klaue VR:</i> Summe Klauen:	117 117 119 119 472
Messreihe 5 Betrieb 3 01.03.-25.03.2011	25 Messzeiten N=359 Tiere	<i>Euter HL:</i> <i>Euter HR:</i> Summe Euter: Schenkelfläche:	5.045 5.047 10.092 4.974
Messreihe 6 Betrieb 3 01.02.-11.05.2011	100 Messzeiten N=176 Tiere	<i>Klaue HL:</i> <i>Klaue HR:</i> Summe Klauen:	11.821 11.499 23.320

### 3.1.5 Oberflächentemperaturen an verschiedenen Körperregionen

Das System lieferte insgesamt 21 verschiedene IR-Kenngrößen für jede der Körperregionen. In der vorliegenden Arbeit soll sich die gesamte Auswertung auf die vier wichtigsten IR-Kenngrößen (Infrarot-Temperatur-Mittelwert, Infrarot-Temperatur-Maximum, Infrarot-Temperatur-Maximum2%, Infrarot-Temperatur-Maximum5%) beschränken.

Grundlage der IR-Kenngrößen waren die Histogramme der Wärmebilder  $b(x;y)$ . Diese sind definiert durch das Raster  $J = \langle T_i \rangle$ , bestehend aus  $k$  aufsteigend geordneten Temperaturwerten  $T_i$  und der zugehörigen Häufigkeitsverteilung  $h_n = \langle H_{n,i} \rangle$  mit  $H_{n,i} = N(T_i=b)/N(b)$  sowie der kumulierten Form des Histogramms  $h_c$  (WIRTHGEN, 2009). Damit lassen sich die vier IR-Kenngrößen wie folgt beschreiben (siehe

Abbildung 18 und

Abbildung 19):

1) Infrarot-Temperatur-Mittelwert (IR-TempMW):

- gibt das arithmetische Mittel der Temperaturen innerhalb der Fläche wieder  
$$\bar{T} = h_n^T \cdot t$$

2) Infrarot-Temperatur-Maximum (IR-TempMax):

- gibt die maximale Temperatur innerhalb der Fläche an  
$$\hat{T} = \max(\vartheta[h_n > 0])$$
- oft wird diese maximale Temperatur nur von einem einzigen Pixel repräsentiert, daher galt diese IR-Kenngröße aus technischer Sicht als nicht robust und es wurde nach stabileren Parametern gesucht, die den Gesundheitszustand des Tieres thermisch abbilden, dazu gehören die folgenden zwei IR-Kenngrößen

3) Infrarot-Temperatur-Maximum98% (IR-TempMax2):

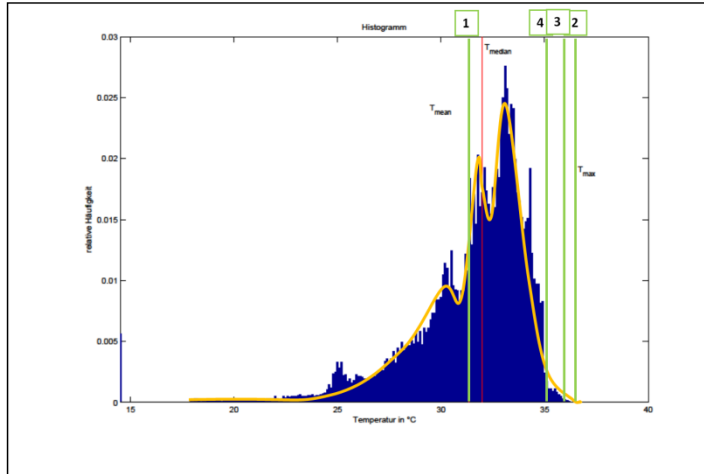
- gibt die Temperatur an, bei der die kumulierte Häufigkeit der Temperaturwerte 98% entspricht (siehe Abbildung 19)  
$$\hat{T}_{2\%} = \max(\vartheta[h_c \leq 0,98])$$

4) Infrarot-Temperatur-Maximum95% (IR-TempMax5):

- weiterer technisch stabiler Temperaturmaximalwert innerhalb einer Körperregion
- gibt die Temperatur an, bei der die kumulierte Häufigkeit der Temperaturwerte 95% entspricht (siehe Abbildung 19)

$$\hat{T}_{5\%} = \max(\vartheta[h_C \leq 0,95])$$

Verdeutlicht werden die beschriebenen IR-Kenngrößen anhand der Häufigkeitsverteilung der Temperaturen innerhalb einer Fläche in Abbildung 18 und Abbildung 19.



1 – IR-TempMW 2 – IR-TempMax 3 – IR-TempMax2 4 – IR-TempMax5

Abbildung 18: Darstellung der IR-Kenngrößen anhand des Temperaturhistogramms einer Körperregion

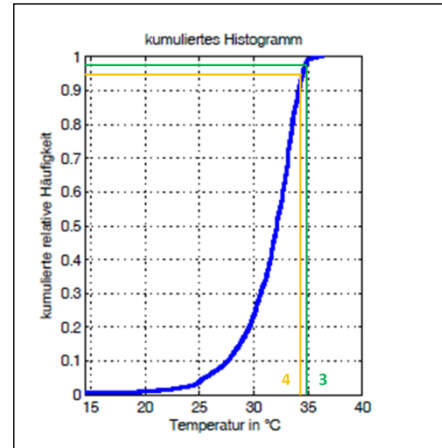


Abbildung 19: Darstellung der IR-Kenngrößen anhand des kumulierten Temperatur-histogramms einer Körperregion

Diese Oberflächentemperaturen wurden zunächst einer deskriptiven statistischen Auswertung unterzogen.

### 3.1.5.1 Euter

Für IR-TempMW zeigten die drei Messreihen Mittelwerte ( $\pm$ Standardabweichung) von  $32,82 \pm 0,93^\circ\text{C}$ ,  $32,96 \pm 1,14^\circ\text{C}$  und  $30,23 \pm 1,38^\circ\text{C}$  (siehe Tabelle 10). Dabei konnte eine minimale Temperatur von  $14,16^\circ\text{C}$  und eine maximale von  $36,34^\circ\text{C}$  festgestellt werden. Deutlich wurde eine große Spannweite der Werte in Messreihe 3 von 22,18 K.

Tabelle 10: IR-Kenngröße IR-TempMW am Euter

	Betrieb 1		Betrieb 3
	Messreihe 1	Messreihe 3	Messreihe 5
	IR-TempMW		
N	8.386	15.327	10.092
MW in °C	32,82	32,96	30,23
SD in °C	0,93	1,14	1,38
Min in °C	28,21	14,16	22,12
Max in °C	35,78	36,34	34,15
Spannweite in K	7,57	22,18	12,03

Die Mittelwerte von IR-TempMax der Körperregion Euter waren in Messreihe 1 und 3 mit  $34,32 \pm 0,79^{\circ}\text{C}$  bzw.  $34,39 \pm 0,98^{\circ}\text{C}$  gleich (siehe Tabelle 11). In Messreihe 5 hingegen war der Mittelwert deutlich niedriger und betrug  $32,29 \pm 1,14^{\circ}\text{C}$ . Sowohl der geringste Wert von  $14,16^{\circ}\text{C}$  als auch der höchste Wert ( $37,44^{\circ}\text{C}$ ) konnte in Messreihe 3 festgestellt werden. In dieser Messreihe trat demzufolge auch die höchste Spannweite auf.

**Tabelle 11: IR-Kenngröße IR-TempMax am Euter**

	Betrieb 1		Betrieb 3
	Messreihe 1	Messreihe 3	Messreihe 5
	IR-TempMax		
N	8.386	15.327	10.092
MW in $^{\circ}\text{C}$	34,32	34,39	32,29
SD in $^{\circ}\text{C}$	0,79	0,98	1,14
Min in $^{\circ}\text{C}$	31,04	14,16	24,50
Max in $^{\circ}\text{C}$	37,60	37,44	36,02
Spannweite in K	6,56	23,28	11,52

IR-TempMax2 der Körperregion Euter konnte in Messreihe 1 und 5 ausgewertet werden, da diese Kenngröße in Messreihe 3 aus technischen Gründen nicht zur Verfügung stand. In diesen beiden Messreihen wurde ein Unterschied der Mittelwerte von  $2,04^{\circ}\text{C}$  deutlich (siehe Tabelle 12). Der geringste Wert von  $24,50^{\circ}\text{C}$  wurde in Messreihe 5 ermittelt, der höchste ( $37,09^{\circ}\text{C}$ ) hingegen in Messreihe 1. Die Spannweite der Messwerte betrug in Messreihe 5 11,05 K und damit ca. 4 K mehr als in der Messreihe 1.

**Tabelle 12: IR-Kenngröße IR-TempMax2 am Euter**

	Betrieb 1		Betrieb 3
	Messreihe 1	Messreihe 3	Messreihe 5
	IR-TempMax2		
N	8.386	-	10.092
MW in $^{\circ}\text{C}$	33,96	-	31,92
SD in $^{\circ}\text{C}$	0,81	-	1,14
Min in $^{\circ}\text{C}$	30,27	-	24,50
Max in $^{\circ}\text{C}$	37,09	-	35,55
Spannweite in K	6,82	-	11,05

IR-TempMax5 konnte in allen Messreihen, bei denen die Körperregion Euter von Interesse war, ermittelt werden (siehe Tabelle 13). Auch bei dieser Kenngröße kann festgehalten werden, dass sich die Mittelwerte der Messreihen 1 ( $33,77 \pm 0,82^{\circ}\text{C}$ ) und 3 ( $33,85 \pm 1,02^{\circ}\text{C}$ ) nicht unterscheiden. In Messreihe 5 war der Mittelwert mit  $31,67 \pm 1,15^{\circ}\text{C}$  deutlich geringer.

Beide Extremwerte (Minimum und Maximum) konnten in Messreihe 3 gemessen werden, die damit auch die größte Spannweite aufwies.

**Tabelle 13: IR-Kenngröße IR-TempMax5 am Euter**

	Betrieb 1		Betrieb 3
	Messreihe 1	Messreihe 3	Messreihe 5
	IR-TempMax5		
N	8.386	15.327	10.092
MW in °C	33,77	33,85	31,67
SD in °C	0,82	1,02	1,15
Min in °C	29,98	14,12	24,50
Max in °C	36,75	37,19	35,37
Spannweite in K	6,77	23,07	10,87

### 3.1.5.2 Schenkelfläche

In den einzelnen Messreihen konnten für IR-TempMW an der Schenkelfläche ähnliche Mittelwerte wie in den Untersuchungsreihen 1 ( $30,10 \pm 1,60^\circ\text{C}$ ) und 3 ( $29,82 \pm 1,99^\circ\text{C}$ ), aber deutlich geringere Werte in Messreihe 5 ( $25,24^\circ\text{C} \pm 2,32^\circ\text{C}$ ) ermittelt werden (siehe Tabelle 14). Der geringste Messwert wurde dabei in Messreihe 3 festgestellt. Ebenso wurde in dieser Untersuchungsreihe auch der höchste Wert gemessen.

**Tabelle 14: IR-Kenngröße IR-TempMW an der Schenkelfläche**

	Betrieb 1		Betrieb 3
	Messreihe 1	Messreihe 3	Messreihe 5
	IR-TempMW		
N	4.221	7.665	4.974
MW in °C	30,10	29,82	25,24
SD in °C	1,60	1,99	2,32
Min in °C	21,88	15,73	16,85
Max in °C	34,04	34,76	31,46
Spannweite in K	12,16	19,03	14,61

Für IR-TempMax konnten wieder deutlich höhere Mittelwerte in Messreihe 1 und 3 gegenüber Messreihe 5 festgestellt werden (siehe Tabelle 15). Der geringste Messwert von  $16,11^\circ\text{C}$  trat dabei in Messreihe 3 auf. Der höchste Wert von  $35,58^\circ\text{C}$  wurde in Messreihe 1 gemessen. Die Spannweite war mit 19,41 K in Messreihe 3 am größten.



**Tabelle 15: IR-Kenngröße IR-TempMax an der Schenkelfläche**

	Betrieb 1		Betrieb 3
	Messreihe 1	Messreihe 3	Messreihe 5
	IR-TempMax		
N	4.221	7.665	4.974
MW in °C	32,24	31,91	27,80
SD in °C	1,28	1,50	1,90
Min in °C	26,58	16,11	19,91
Max in °C	35,58	35,52	33,55
Spannweite in K	9,00	19,41	13,64

IR-TempMax2 an der Schenkelfläche konnte in Messreihe 1 und 5 bestimmt werden (siehe Tabelle 16). Dabei war das Mittel in Messreihe 1 um 4,63 K höher als in Messreihe 5. Das absolute Minimum wurde in Messreihe 5 gemessen, wo hingegen der absolute Maximalwert in Messreihe 1 ermittelt werden konnte.

**Tabelle 16: IR-Kenngröße IR-TempMax2 an der Schenkelfläche**

	Betrieb 1		Betrieb 3
	Messreihe 1	Messreihe 3	Messreihe 5
	IR-TempMax2		
N	4.221	-	4.974
MW in °C	31,86	-	27,23
SD in °C	1,34	-	2,02
Min in °C	25,35	-	19,27
Max in °C	35,30	-	32,95
Spannweite in K	9,95	-	13,68

Die Aussagen der vorhergehenden IR-Kenngrößen bezüglich der Mittelwerte können auch für IR-TempMax5 wiederholt werden (siehe Tabelle 17). So sind die Mittelwerte mit  $31,63 \pm 1,38^\circ\text{C}$  und  $31,23 \pm 1,61^\circ\text{C}$  in den Messreihen 1 und 3 deutlich höher als in Messreihe 5. Die größte Spannweite der Messwerte wies Messreihe 3 auf, wobei sowohl absolutes Minimum und Maximum in dieser Untersuchungsreihe festgestellt wurden.

**Tabelle 17: IR-Kenngröße IR-TempMax5 an der Schenkelfläche**

	Betrieb 1		Betrieb 3
	Messreihe 1	Messreihe 3	Messreihe 5
	IR-TempMax5		
N	4.221	7.665	4.974
MW in °C	31,63	31,23	26,94
SD in °C	1,38	1,61	2,08
Min in °C	24,74	16,04	18,83
Max in °C	35,11	35,22	32,85
Spannweite in K	10,37	19,18	14,04

### 3.1.5.3 Klauen

Die Mittelwerte von IR-TempMW waren in allen vier Messreihen verschieden (siehe Tabelle 18). Die geringste Klauentemperatur wurde in Messreihe 6 mit 6,51°C gemessen. Die höchste Temperatur von 33,73°C entstammte Messreihe 1.

**Tabelle 18: IR-Kenngröße IR-TempMW an den Klauen**

	Betrieb 1		Betrieb 2	Betrieb 3
	Messreihe 1	Messreihe 2	Messreihe 4	Messreihe 6
	IR-TempMW			
N	8.036	168	472	23.320
MW in °C	28,25	24,28	26,25	22,33
SD in °C	2,28	2,10	2,32	4,01
Min in °C	15,62	18,55	19,97	6,51
Max in °C	33,73	27,86	32,91	33,23
Spannweite in K	18,11	9,31	12,94	26,72

Auch bei IR-TempMax konnte in Messreihe 6 ein deutlich geringerer Mittelwert festgestellt werden als in allen anderen Messreihen (siehe Tabelle 19). Der Minimalwert der Messungen wurde mit 7,78°C in Messreihe 6 ermittelt. Der Maximalwert der Messungen wurde in Messreihe 1 mit 35,14°C festgestellt. Die größte Spannweite trat in Messreihe 6 auf.

**Tabelle 19: IR-Kenngröße IR-TempMax an den Klauen**

	Betrieb 1		Betrieb 2	Betrieb 3
	Messreihe 1	Messreihe 2	Messreihe 4	Messreihe 6
	IR-TempMax			
N	8.036	168	472	23.320
MW in °C	30,82	28,56	28,99	25,73
SD in °C	1,99	2,05	2,44	3,66
Min in °C	17,05	21,44	21,21	7,78
Max in °C	35,14	31,63	34,98	35,35
Spannweite in K	18,09	10,19	13,77	27,57

IR-TempMax2 konnte in Messreihe 4 aus technischen Gründen nicht ermittelt werden. Daher beschränkt sich die deskriptive Statistik auf die Messreihen 1, 2 und 6. Es wurde wie zuvor auch schon bei IR-TempMW und IR-TempMax ein geringerer Mittelwert in Messreihe 6 gegenüber Messreihe 1 und 2 deutlich (siehe Tabelle 20). Dabei wurden sowohl Minimal- als auch Maximalwert in der sechsten Messreihe gemessen.

**Tabelle 20: IR-Kenngröße IR-TempMax2 an den Klauen**

	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 3
	Messreihe 1	Messreihe 4	Messreihe 6
	IR-TempMax2		
N	8.036	472	23.320
MW in °C	30,52	28,66	25,37
SD in °C	2,00	2,40	3,69
Min in °C	17,05	20,95	7,65
Max in °C	34,78	34,57	35,22
Spannweite in K	17,73	13,62	27,57

Auch bei IR-TempMax5 konnten nur die Daten aus Messreihe 1, 2 und 6 ausgewertet werden, wobei der Mittelwert in Messreihe 6 mit  $25,02 \pm 3,74^{\circ}\text{C}$  um 3,28 K geringer war als in Messreihe 2 und sogar 5,22 K geringer als in Messreihe 1 (siehe Tabelle 21). Auch bei dieser IR-Kenngröße konnten beide Extremwerte in Messreihe 6 gemessen und somit auch die größte Spannweite festgestellt werden.

**Tabelle 21: IR-Kenngröße IR-TempMax5 an den Klauen**

	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 3
	Messreihe 1	Messreihe 4	Messreihe 6
	IR-TempMax5		
N	8.036	472	23.320
MW in °C	30,24	28,30	25,02
SD in °C	2,03	2,39	3,74
Min in °C	16,91	20,76	7,35
Max in °C	34,56	34,37	35,14
Spannweite in K	17,65	13,61	27,79

### **3.2 Untersuchungsschwerpunkte**

Die gemessenen Oberflächentemperaturen an den Körperregionen der Tiere wurden unter folgenden Gesichtspunkten ausgewertet:

- (1) Abhängigkeit der Oberflächentemperatur von Einflussfaktoren
- (2) Gesundheitsmonitoring in Bezug auf die Eutergesundheit
- (3) Gesundheitsmonitoring in Bezug auf die Klauengesundheit
- (4) Gesundheitsmonitoring in Bezug auf den Allgemeinzustand (Fieber)
- (5) Identifizierung erkrankter Tiere anhand der Oberflächentemperatur

Um diese Auswertungen vornehmen zu können, mussten neben den Oberflächentemperaturen die Einflussfaktoren, Referenzdaten für die Euter- und Klauengesundheit sowie den Allgemeinzustand erfasst werden.

### **3.3 Abhängigkeit der Oberflächentemperatur von Einflussfaktoren**

In den durchgeführten Untersuchungsreihen wurden mögliche Einflussfaktoren auf die Messung der Oberflächentemperatur mittels IR-Thermographie erfasst. Diese sind:

- Umgebungstemperatur
  - relative Luftfeuchte
  - Luftgeschwindigkeit
  - Verschmutzung der Tiere
  - Tageszeitpunkt der Messung
  - Alter, Laktationsstadium, Milchleistung
- } Umgebungsfaktoren

### 3.3.1 Umgebungsfaktoren

#### 3.3.1.1 Material und Methoden

Zur Erfassung der Umgebungsfaktoren - Umgebungstemperatur und relative Luftfeuchte - diente ein Klimamessgerät (siehe Abbildung 20). Darüber hinaus wurde die Luftgeschwindigkeit mit Hilfe eines Ultraschallanemometers ermittelt. Beide Geräte waren gegenüber der Kamera am Gestänge des Melkkarussells befestigt, so dass die Umgebungsbedingungen in unmittelbarer Tier- und Kameranähe aufgezeichnet wurden. Die parallele Erfassung von Oberflächentemperatur und Umgebungsfaktoren ermöglichte die Zuordnung der entsprechenden Werte zu jedem IR-Bild. Demzufolge enthielten die Datensätze die drei erfassten Umgebungsfaktoren, die Messzeitnummer und die Nummer des Tieres. Die Umgebungsfaktoren als mögliche Einflussgrößen wurden in den Messreihe 1, 3, 5 und 6 erfasst. Die Anzahlen der vorliegenden Daten sind Tabelle 22 zu entnehmen.

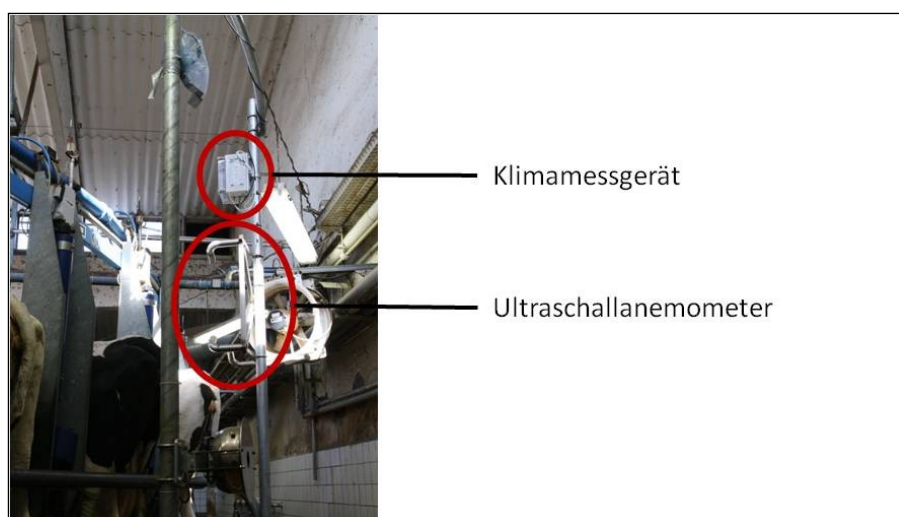


Abbildung 20: Platzierung des Klimamessgerätes und des Ultraschallanemometers am Melkkarussell

Tabelle 22: Übersicht der Messreihen hinsichtlich Umgebungsfaktoren

Bezeichnung	Anzahl Daten der Umgebungsfaktoren	
Messreihe 1	Umgebungstemperatur:	4.221
	relative Luftfeuchte:	4.221
	Luftgeschwindigkeit:	4.221
Messreihe 3	Umgebungstemperatur:	8.899
	relative Luftfeuchte:	8.899
Messreihe 5	Umgebungstemperatur:	5.069
	relative Luftfeuchte:	5.069
	Luftgeschwindigkeit:	5.069
Messreihe 6	Umgebungstemperatur:	11.991
	relative Luftfeuchte:	11.991
	Luftgeschwindigkeit:	12.057

Die Umgebungsfaktoren wurden zunächst einer deskriptiven statistischen Auswertung unterzogen. Der Zusammenhang zwischen gemessener Oberflächentemperatur und den Umgebungsfaktoren konnte anschließend über Korrelationskoeffizienten nach PEARSON (r) sowie das Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) der linearen Regression dargestellt werden.

### 3.3.1.2 Ergebnisse

#### *Umgebungstemperatur*

Die Umgebungsfaktoren wurden erfasst und den jeweiligen IR-Aufnahmen zugeordnet. Die Umgebungstemperatur lag im Mittel der Messreihen zwischen 17,0°C und 18,0°C (siehe Tabelle 23). Dabei konnten Umgebungstemperaturen im Bereich von 8,4°C bis 26,0°C gemessen werden. Die Spannweite der Temperaturwerte lag in den einzelnen Messreihen bei 10,5 K, 16,8 K, 15,2 K und 15,5 K.

**Tabelle 23: Gemessene Umgebungstemperatur**

	Betrieb 1		Betrieb 3	
	Messreihe 1	Messreihe 3	Messreihe 5	Messreihe 6
N	4.221	8.899	5.069	11.991
MW in°C	17,2	17,8	17,0	18,0
SD in°C	2,6	4,2	3,2	3,1
Min in°C	12,8	9,2	8,4	9,1
Max in°C	23,3	26,0	23,6	24,6
Spannweite in K	10,5	16,8	15,2	15,5

#### *Relative Luftfeuchte*

Die relative Luftfeuchte betrug in den einzelnen Messreihen durchschnittlich  $66,1 \pm 10,1\%$ ,  $78,6 \pm 5,0\%$ ,  $65,1 \pm 10,7\%$  und  $60,6 \pm 10,1\%$  (siehe Tabelle 24). Mit Werten von 33,0% bis 91,7% konnte ein breiter Bereich der an einem Melkstand möglichen relativen Luftfeuchte mit den Messreihen abgedeckt werden.

**Tabelle 24: Gemessene relative Luftfeuchte**

	Betrieb 1		Betrieb 3	
	Messreihe 1	Messreihe 3	Messreihe 5	Messreihe 6
N	4.221	8.899	5.069	11.991
MW in%	66,1	78,6	65,1	60,6
SD in%	10,2	5,0	10,7	10,1
Min in%	44,4	65,5	39,0	33,0
Max in%	84,8	91,7	88,8	88,1
Spannweite in%	40,4	26,2	49,8	55,1

### *Luftgeschwindigkeit*

Die Luftgeschwindigkeit wurde in Messreihe 1, 5 und 6 erfasst. Die Mittelwerte dieses Parameters betrugen  $0,19 \pm 0,09$  m/s,  $0,12 \pm 0,10$  m/s und  $0,16 \pm 0,14$  m/s (siehe Tabelle 25). Dabei konnten Werte von 0,00 m/s bis hin zu 1,6 m/s gemessen werden. Die höchsten Werte und auch die größte Spannweite konnte in Messreihe 6 verzeichnet werden.

**Tabelle 25: Gemessene Luftgeschwindigkeit**

	Betrieb 1	Betrieb 3	
	Messreihe 1	Messreihe 5	Messreihe 6
N	4.221	5.069	12.057
MW in m/s	0,19	0,12	0,16
SD in m/s	0,09	0,10	0,14
Min in m/s	0,00	0,00	0,00
Max in m/s	0,73	0,62	1,60
Spannweite in m/s	0,73	0,62	1,60

### *Zusammenhang Oberflächentemperatur und Umgebungsfaktoren*

Mittels Korrelation und Regression konnte der Zusammenhang zwischen Oberflächentemperatur und parallel ermittelter Umgebungsfaktoren bestimmt werden. Die berechneten Korrelationskoeffizienten und Bestimmtheitsmaße für die interessante Körperregion Euter sind in Tabelle 26 (S. 57) dargestellt. Aus ihr geht hervor, dass von den Umgebungsfaktoren lediglich die Umgebungstemperatur Korrelationskoeffizienten und Bestimmtheitsmaße in ausschlaggebender Höhe aufwies. So lagen die Koeffizienten der Korrelation von Oberflächentemperatur an den Eutern und Umgebungstemperatur für die einzelnen IR-Kenngrößen im Bereich von  $r=0,53$  bis  $r=0,60$  (Messreihe 1) bzw.  $r=0,65$  bis  $r=0,72$  (Messreihe 3) und  $r=0,39$  bis  $r=0,43$  (Messreihe 5). Der Zusammenhang zwischen relativer Luftfeuchte und gemessener Oberflächentemperatur war in allen Messreihen als negativ nachzuweisen, wobei der Zusammenhang durch Korrelationskoeffizienten jedoch mit  $r=-0,26$  bis  $r=-0,19$  als gering eingeschätzt werden muss. Die in Messreihe 1 und 5 erfasste Luftgeschwindigkeit zeigte in der ersten Messreihe keinen Einfluss auf die Messwerte, da keine Korrelation festgestellt werden konnte. In Messreihe 5 waren die gemessenen Luftgeschwindigkeiten sowohl im Mittel- als auch im Maximalwert höher als in Messreihe 1 (siehe Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.). Demzufolge konnten auch höhere negative Korrelationskoeffizienten zwischen diesem Umgebungsfaktor und der Oberflächentemperatur festgestellt werden ( $r=-0,26$  bis  $r=-0,22$ ). Allerdings ist diese Höhe der Korrelation für die Feststellung eines Einflusses zu gering.

An der Schenkelfläche zeigten sich Korrelationen von  $r=0,56$  bis  $r=0,59$  (Messreihe 1) bzw.  $r=0,70$  bis  $r=0,73$  (Messreihe 3) und  $r=0,45$  bis  $r=0,48$  (Messreihe 5) zwischen Oberflächentemperatur und Umgebungstemperatur (siehe Tabelle 27). Die relative Luftfeuchte wies in allen Messreihen eine leicht negative Korrelation zur Oberflächentemperatur an der Schenkelfläche auf. Dabei bewegten sich die Korrelationskoeffizienten in der Größenordnung von  $r=-0,24$  bis  $r=-0,13$ . Der Einfluss der Luftgeschwindigkeit konnte in Messreihe 1 und 5 bestimmt werden, da sie in Messreihe 3 nicht erfasst wurde. Sie zeigte einen leicht negativen Einfluss in Messreihe 5 mit Korrelationskoeffizienten im Bereich von  $r=-0,24$  bis  $r=-0,23$ . In Messreihe 1 hingegen war die Korrelation für alle IR-Kenngrößen nahe 0.



**Tabelle 26: Zusammenhang zwischen Oberflächentemperatur der Euter und Umgebungsfaktoren**

	Messreihe 1				Messreihe 3			Messreihe 5			
	IR-TempMW	IR-TempMax	IR-TempMax2	IR-TempMax5	IR-TempMW	IR-TempMax	IR-TempMax5	IR-TempMW	IR-TempMax	IR-TempMax2	IR-TempMax5
N	8.386				13.649			10.092			
Umgebungstemperatur											
r	0,60	0,53	0,55	0,57	0,72	0,65	0,69	0,43	0,39	0,41	0,43
R <sup>2</sup>	0,36	0,28	0,30	0,32	0,52	0,42	0,47	0,19	0,15	0,17	0,18
relative Luftfeuchte											
r	-0,21	-0,19	-0,20	-0,20	-0,23	-0,21	-0,22	-0,26	-0,23	-0,25	-0,25
R <sup>2</sup>	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,07	0,05	0,06	0,06
Luftgeschwindigkeit											
r	0,00	0,01	0,00	0,00	-	-	-	-0,26	-0,22	-0,24	-0,25
R <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-	0,07	0,05	0,06	0,06

**Tabelle 27: Zusammenhang zwischen Oberflächentemperatur der Schenkelfläche und Umgebungsfaktoren**

	Messreihe 1				Messreihe 3			Messreihe 5			
	IR-TempMW	IR-TempMax	IR-TempMax2	IR-TempMax5	IR-TempMW	IR-TempMax	IR-TempMax5	IR-TempMW	IR-TempMax	IR-TempMax2	IR-TempMax5
N	4.221				7.661			4.974			
Umgebungstemperatur											
r	0,59	0,56	0,56	0,57	0,73	0,70	0,70	0,48	0,45	0,46	0,46
R <sup>2</sup>	0,35	0,32	0,32	0,32	0,53	0,48	0,49	0,23	0,21	0,21	0,21
relative Luftfeuchte											
r	-0,13	-0,16	-0,15	-0,15	-0,22	-0,21	-0,21	-0,24	-0,21	-0,21	-0,22
R <sup>2</sup>	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05	0,04	0,06	0,04	0,05	0,05
Luftgeschwindigkeit											
r	0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-	-	-	-0,24	-0,23	-0,23	-0,23
R <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-	0,06	0,05	0,05	0,05

Der Einfluss der Umgebungsfaktoren auf die Oberflächentemperatur der Klauen wurde anhand der Daten aus den Messreihen 1 und 6 berechnet (siehe Tabelle 28). Dabei zeigte sich wie auch schon bei Euter und Schenkelfläche die höchste Korrelation zwischen Oberflächentemperatur und Umgebungstemperatur. Die Korrelation lag bei Messreihe 1 im Bereich von  $r=0,39$  bis  $r=0,45$  und bei Messreihe 6 bei  $r=0,40$  bis  $r=0,46$ . Die relative Luftfeuchte zeigte in beiden Messreihen eine negative Korrelation, wobei diese in Messreihe 1 sehr gering und in Messreihe 6 gering war. Es konnte in beiden Messreihen keine Korrelation von Oberflächentemperatur und auftretender Luftgeschwindigkeit nachwiesen werden.

**Tabelle 28: Zusammenhang zwischen Oberflächentemperatur der Klauen und Umgebungsfaktoren**

	Messreihe 1				Messreihe 6			
	IR-Temp MW	IR-TempM ax	IR-TempMa x2	IR-TempMa x5	IR-TempM W	IR-TempM ax	IR-TempMax 2	IR-TempMa x5
N	8.036				23.320			
Umgebungstemperatur								
r	0,45	0,39	0,40	0,41	0,46	0,40	0,41	0,42
R <sup>2</sup>	0,20	0,15	0,16	0,17	0,21	0,16	0,17	0,18
relative Luftfeuchte								
r	-0,05	-0,06	-0,06	-0,06	-0,12	-0,11	-0,11	-0,12
R <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
Luftgeschwindigkeit								
r	0,03	0,03	0,03	0,03	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05
R <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Anhand der berechneten Korrelationen und Regressionen konnte festgestellt werden, dass die Umgebungstemperatur als einziger der erfassten Umgebungsfaktoren Koeffizienten im interessanten Bereich ( $>0,40$ ) aufwies. Damit wurde ein Einfluss der Umgebungstemperatur auf die Messung der Oberflächentemperatur nachgewiesen. Für den Einsatz der IR-Thermographie, als eine Möglichkeit der automatischen Gesundheitsüberwachung bei Milchkühen, müssen die Oberflächentemperaturen der einzelnen Messungen (verschiedene Umgebungstemperatur) also um diesen Umgebungsfaktor korrigiert werden, damit eine Vergleichbarkeit der Daten entsteht. In der hier vorliegenden Arbeit wurde das im nächsten Kapitel beschriebene Verfahren umgesetzt. Alle anderen betrachteten Umgebungsfaktoren konnten unter den gegebenen Versuchsbedingungen aufgrund des nicht vorhandenen Zusammenhangs vernachlässigt werden.

### 3.3.1.3 Korrektur der Oberflächentemperatur

Da die Umgebungstemperatur die Oberflächentemperatur maßgebend beeinflusst, musste eine Korrektur der IR-Kenngrößen um diesen Einflussfaktor vorgenommen werden. Die Korrektur resultierte für jede IR-Kenngröße der relevanten Körperregionen aus der durchgeführten Regressionsanalyse. So wurde die Abhängigkeit einer jeden IR-Kenngröße von der Umgebungstemperatur an jeder interessanten Körperregion durch eine lineare Regressionsgleichung beschrieben (siehe Formel 1):

$$f(x) = y = mx + n \quad (\text{Formel 1})$$

y	erwartete Oberflächentemperatur bei gemessener Umgebungstemperatur x
x	Umgebungstemperatur, die parallel zur IR-Aufnahme gemessen wurde
m	Anstieg der linearen Regressionsgleichung
n	Schnittpunkt der Regressionsgeraden mit der Ordinate

Für die Korrektur wurde die zeitgleich zur Oberflächentemperatur gemessene Umgebungstemperatur (x) in die Regressionsgleichung eingesetzt. Aus der anschließenden Subtraktion der berechneten erwarteten Oberflächentemperatur (y) von der aktuell gemessenen, resultierten die Residuen (Formel 2). Diese wurden als die korrigierten IR-Temperaturen (z.B. IR-TempMW\_korr) betrachtet. Tabelle A 1 (S. 150) zeigt die Korrekturfaktoren, die in der vorliegenden Arbeit für die einzelnen Körperregionen und Messreihen verwendet wurden.

$$\text{IR-Temp\_korr} = \text{IR-Temp} - y \quad (\text{Formel 2})$$

IR-Temp_korr	korrigierte Oberflächentemperatur
IR-Temp	tatsächlich gemessene Oberflächentemperatur
y	erwartete Oberflächentemperatur bei gemessener Umgebungstemperatur

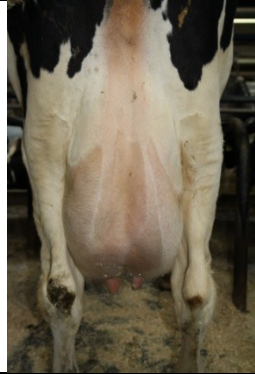

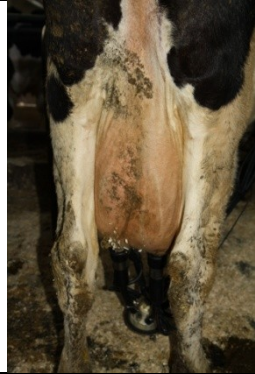
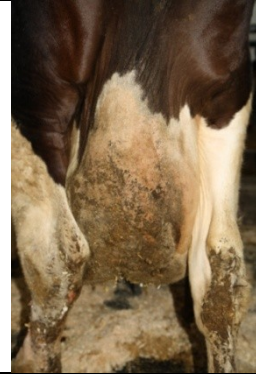




Ein Großteil der Ergebnisse wurde anhand der korrigierten IR-Kenngrößen ermittelt und auch anhand dieser dargestellt.

### *3.3.2 Verschmutzung der Tiere*

#### *3.3.2.1 Material und Methoden*

Ein weiterer möglicher Einflussfaktor auf die Messung der Oberflächentemperatur ist die Verschmutzung der Tiere. Da bei einem Gesundheitsmonitoring in Milchviehherden diese nicht vermieden werden kann, war es notwendig zu klären, inwieweit sie die automatische Gesundheitsüberwachung beeinflusst.

Zur Beurteilung der Verschmutzung der Tiere wurden die für die Messung der Oberflächentemperatur interessanten Körperregionen Euter und Klauen herangezogen. Die Bonitur erfolgte in Messreihe 1 nach einem vierstufigen Schlüssel (von 1 = sauber bis 4 = stark verschmutzt; siehe Abbildung 21) in Anlehnung an FAYE & BARNOUIN (1985). Zusätzlich wurde an den Klauen die Feuchtigkeit in zwei Stufen (1 = trocken und 2 = feucht bis nass) bewertet. Die Verschmutzung der Einzeltiere wurde am Melkkarussell zu jeder Melkzeit im Messzeitraum parallel zur Erfassung der Oberflächentemperatur bonitiert. Der Beurteilungsplatz befand sich dabei zwei bis drei Melkplätze vor der IR-Kamera. Die Bestimmung des Verschmutzungsgrades und der Feuchtigkeit wurde über den gesamten Messzeitraum von ein und derselben Person realisiert, um Abweichungen durch den Beobachtereinfluss zu vermeiden. Die Identifizierung der Tiere wurde umgesetzt, indem die Tiernummer von der Melkeinheit abgelesen und dokumentiert wurde. Die Datensätze für die jeweilige Körperregion enthalten so neben den Verschmutzungsnoten, die Messzeitnummer und die Nummer des beurteilten Tieres. Es konnten 6.043 Verschmutzungsnoten für die Region Euter und ebenso viele für die Region der Klauen vergeben werden.

			
			
Note 1	Note 2	Note 3	Note 4
keine Verschmutzung an der entsprechenden Körperregion	wenig Verschmutzungen an der entsprechenden Körperregion	Verschmutzungen an der entsprechenden Körperregion	starke Verschmutzungen an der entsprechenden Körperregion

**Abbildung 21: Verschmutzungsnoten an Euter und Klauen**

Nach der deskriptiven statistischen Auswertung der bonitierten Verschmutzungen wurden zur Feststellung eines möglichen Einflusses dieser auf die Messung der Oberflächentemperatur die Mittelwerte mit Hilfe der Varianzanalyse (einfaktorielle ANOVA) verglichen. Anschließend wurde der Post-Hoc-Test nach BONFERRONI durchgeführt, um mögliche Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen darzustellen. Das Signifikanzniveau wurde auf  $p < 0,05$  festgelegt. Die Daten der bonitierten Klauenfeuchte wurden ebenfalls gegenübergestellt und die Mittelwerte mit dem t-Test verglichen. Auch hier galten Unterschiede mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p < 0,05$  als signifikant.

### 3.3.2.2 Ergebnisse

An der Region Euter war die Boniturnote 2 (wenig Verschmutzung), die am häufigsten vergebene Note (siehe Tabelle 29). Annähernd gleiche Anteile entfallen auf die Noten 1 (keine Verschmutzungen) und 3 (Verschmutzungen). Nur 5,8% der Beobachtungen an den Eutern zeigten starke Verschmutzungen. Eine etwas andere Verteilung zeigte sich bei den Verschmutzungen der Klauen (siehe Tabelle 29). Hier war der Großteil (64,9%) der beurteilten Klauen mit Note 3 bewertet worden. Note 1 hingegen wurde nur bei 0,3% der Beobachtungen vergeben. Auch der Anteil, der mit Note 4 bewerteten Beobachtungen, ist deutlich höher als bei den Eutern. Damit sind die Klauen insgesamt stärker verschmutzt als die Euter. Bei der Bewertung der Klauenfeuchte wurden 92% der Beobachtungen als trocken eingestuft.

**Tabelle 29: Absolute und relative Häufigkeit der Verschmutzungsnoten der Körperregion Euter und Klauen**

Verschmutzungsnote	Euter	Klauen
1	1.521 (25,2%)	18 (0,3%)
2	2.580 (42,7%)	1.454 (24,1%)
3	1.591 (26,3%)	3.920 (64,8%)
4	351 (5,8%)	651 (10,8%)

Eine Übersicht über die Mittelwerte der Oberflächentemperaturen an Eutern und Klauen in Abhängigkeit von der Verschmutzung gibt Tabelle A 2 (S. 151). Aus ihr geht hervor, dass bei allen IR-Kenngrößen die Unterschiede zwischen den Verschmutzungsnoten bei ca. 0,1 K lagen. Trotzdem ergab der Mittelwertvergleich an den Eutern einen signifikanten Unterschied bei IR-TempMW\_korr, IR-TempMax\_korr und IR-TempMax5\_korr (siehe Tabelle A 3, S. 152). Dabei ist der Mittelwert entgegen den Erwartungen bei stark verschmutzten Eutern höher als bei verschmutzten (siehe Abbildung 22). Bei der Untersuchung der Verschmutzung an den Klauen konnte festgestellt werden, dass sich signifikante Unterschiede bei IR-TempMax\_korr, IR-TempMax2\_korr und IR-TempMax5\_korr ergeben (siehe Tabelle A 4, S. 153). Die Unterschiede lagen bei den Gruppen der Verschmutzungsnoten 2 und 4 sowie 3 und 4. Allerdings stiegen auch hier die gemessenen Oberflächentemperaturen mit zunehmender Verschmutzung an (siehe Abbildung 22).

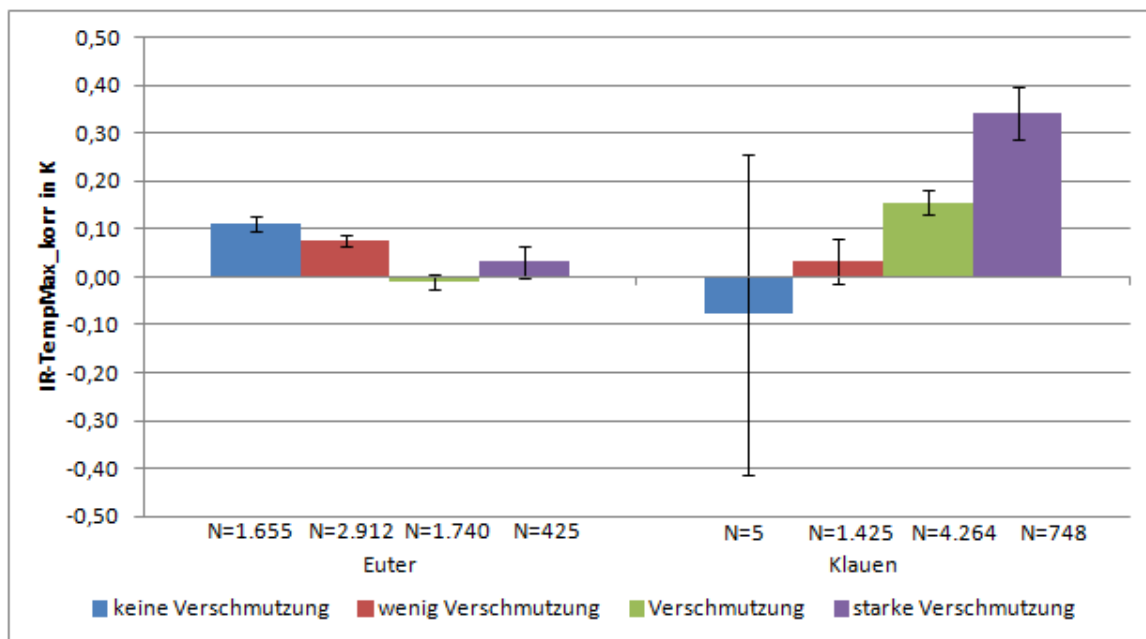


Abbildung 22: Mittelwerte IR-TempMax\_korr an Euter und Klauen der Messreihe 1 in Abhängigkeit von der Verschmutzung (dargestellt MW + SE)

Neben den Verschmutzungen wurde in der ersten Messreihe auch die Feuchtigkeit der Klauen in zwei Stufen beurteilt. Die in Tabelle 30 dargestellten Mittelwerte zeigen, dass die gemessene Oberflächentemperatur an den Klauen geringer war, wenn die Klauen feucht bzw. nass waren. Der t-Test bestätigte die auftretenden Unterschiede von etwa 0,2 K als signifikant.

Tabelle 30: IR-Kenngrößen an den Klauen der Messreihe 1 in Abhängigkeit von der Klauenfeuchte

Klauenfeuchte	N	MW in K	SE in K	p (t-Test)
	IR-TempMW_korr			
trocken	5.785	0,26	0,02	0,000
feucht/nass	512	-0,06	0,08	
	IR-TempMax_korr			
trocken	5.785	0,18	0,02	0,018
feucht/nass	512	0,00	0,08	
	IR-TempMax2_korr			
trocken	5.785	0,19	0,02	0,008
feucht/nass	512	-0,02	0,07	
	IR-TempMax5_korr			
trocken	5.785	0,20	0,02	0,003
feucht/nass	512	-0,03	0,08	

In den weiteren Messreihen wurde auf die Beurteilung der Verschmutzung und der Feuchtigkeit an den interessanten Körperregionen verzichtet, da die festgestellten Unterschiede zwar zum Teil signifikant, aber absolut nur sehr gering (0,1 - 0,2 K) waren.

Zudem konnte festgestellt werden, dass sich zwar die Gruppen der verschiedenen Boniturnoten unterscheiden, die Einzeltiere aber über den Verlauf des Messzeitraumes nur geringe Änderungen aufwiesen (siehe Tabelle A 5, S. 154 f.) und somit ein automatisches Gesundheitsmonitoringsystem auf Basis der IR-Thermographie nicht durch Verschmutzungen und verschiedene Feuchtegrade beeinflusst wird.

### *3.3.3 Tageszeit*

#### *3.3.3.1 Material und Methoden*

Da aus der Literatur der mögliche Einfluss des Tageszeitpunktes auf die Messung der Oberflächentemperatur begründet durch den circadianen Rhythmus der Körpertemperatur hervorging, wurde dies in Messreihe 1 untersucht. Dazu wurden Tiere aus zwei verschiedenen Haltungsgruppen ausgewählt, die zu unterschiedlichen Tageszeiten gemolken wurden. So erfolgten die Melkungen der ersten Haltungsgruppe morgens etwa in der Zeit von 6:30 bis 7:00 Uhr (Tageszeit 1) und nach 12 Stunden Zwischenmelkzeit zwischen 18:30 und 19:00 Uhr (Tageszeit 3). Der Milchentzug der zweiten Haltungsgruppe erfolgte täglich ca. von 10:00 bis 10:30 Uhr (Tageszeit 2) sowie in der Zeit von 22:00 bis 22:30 Uhr (Tageszeit 4). Zur Auswertung dieser Einflussgröße wurden sowohl alle Datensätze der Oberflächentemperaturen als auch der Referenzuntersuchungen mit dem zusätzlichen Merkmal Tageszeitnummer versehen.

Der Einfluss der Tageszeit konnte an allen interessanten Körperregionen in Messreihe 1 untersucht werden. Dazu wurden sowohl die Oberflächentemperaturen als auch die für einen weiteren Untersuchungsschwerpunkt ermittelten Rektaltemperaturen (siehe Kapitel 3.6) der beiden Haltungsgruppen zum morgendlichen und abendlichen Messzeitpunkt miteinander verglichen. Das gewählte statistische Verfahren war dabei der Mittelwertvergleich mit Hilfe der Varianzanalyse (ANOVA) und anschließendem Post-Hoc-Test nach BONFERRONI. Auch hier wurde ein Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  angenommen.

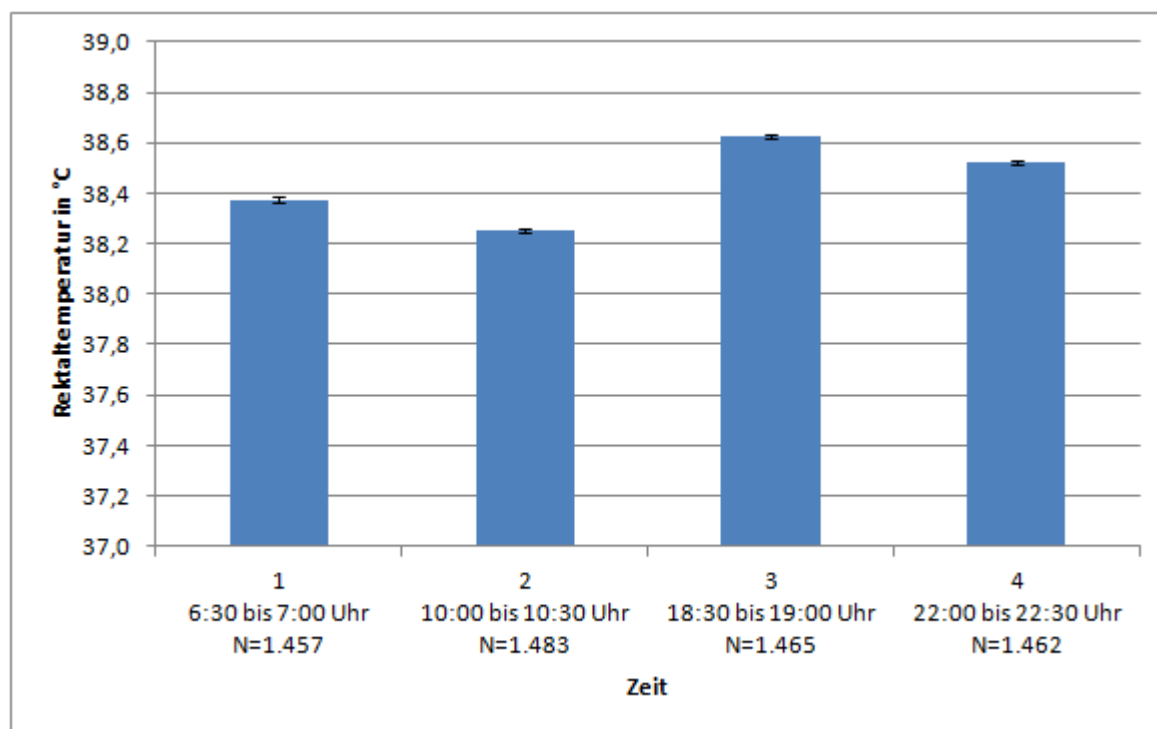


### 3.3.3.2 Ergebnisse

Der Untersuchung des Zusammenhangs von Oberflächentemperatur und Tageszeit wurde die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Rektaltemperatur und Tageszeit vorangestellt. Der Mittelwertvergleich mittels ANOVA und Post-Hoc-Test nach BONFERRONI ergab signifikante Unterschiede zwischen allen vier Messzeitpunkten innerhalb eines Tages (siehe Tabelle 31). Aus der Abbildung 23 geht hervor, dass die Rektaltemperatur zur Abendmelkzeit (Tageszeit 3 und 4) gegenüber der Morgenmelkzeit erhöht war. Als Ursache für die verschiedenen Mittelwerte kann der circadiane Rhythmus der Körpertemperatur vermutet werden.

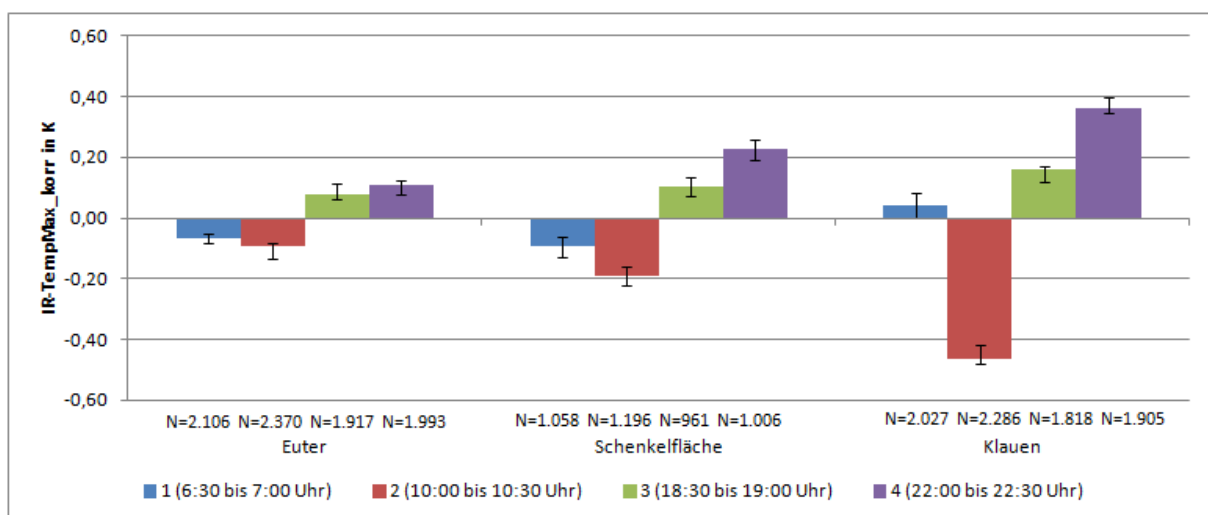
**Tabelle 31: Prüfung der Mittelwertdifferenzen der Rektaltemperatur in Abhängigkeit von der Tageszeit auf Signifikanz**

	ANOVA p=0,000			
	Post-Hoc-Test nach BONFERRONI p<0,05			
Zeit	1	2	3	4
1	----	ja	ja	ja
2	ja	----	ja	ja
3	ja	ja	----	ja
4	ja	ja	ja	----



**Abbildung 23: Mittelwerte Rektaltemperatur der Messreihe 1 in Abhängigkeit von der Tageszeit (dargestellt MW ± SE)**

Ein eindeutiges Ergebnis zeigte auch der Mittelwertvergleich der um die Umgebungstemperatur korrigierten IR-Kenngrößen an den interessanten Körperregionen Euter, Schenkelfläche und Klauen. Die ANOVA erbrachte bei allen Kenngrößen aller Flächen hochsignifikante Unterschiede (siehe Abbildung 24). Besonders zu beachten waren dabei die Unterschiede zwischen Tageszeit 1 und 3 sowie Tageszeit 2 und 4, da dies der Messung der gleichen Tiere aus zwei unterschiedlichen Haltungsgruppen entsprach. So konnte sowohl an den Eutern als auch an der Schenkelfläche durch den Post-Hoc-Test nach BONFERRONI bei allen korrigierten IR-Kenngrößen ein signifikanter Unterschied bestätigt werden (siehe Tabelle A 6, S. 156; Tabelle A 7, S. 157). An den Klauen konnte bei allen korrigierten IR-Kenngrößen die Signifikanz nur zwischen Tageszeit 2 und 4 nachgewiesen werden. Die Mittelwerte von Tageszeit 1 und 3 hingegen unterschieden sich nicht signifikant (siehe Tabelle A 8, S. 158).



**Abbildung 24: Mittelwerte IR-TempMax\_korr an Eutern, Schenkelfläche und Klauen in Abhängigkeit von der Tageszeit (dargestellt MW  $\pm$  SE)**

Anhand der unterschiedlichen Mittelwerte von Rektaltemperatur und Oberflächentemperatur an allen interessanten Körperregionen zu den verschiedenen Tageszeiten muss geschlussfolgert werden, dass der circadiane Rhythmus der Körpertemperatur sich nicht nur in der Rektaltemperatur, sondern auch in der Oberflächentemperatur abbilden lässt. Für ein automatisches Gesundheitsmonitoring basierend auf der IR-Thermographie muss somit die Messung der Oberflächentemperatur auf einen Tageszeitpunkt beschränkt werden, damit die Vergleichbarkeit der Messergebnisse eines Tieres über einen bestimmten Zeitraum hinweg gegeben ist.

### 3.3.4 *Alter, Laktationsstadium, Milchleistung*

#### 3.3.4.1 *Material und Methoden*

Um die Abhängigkeit der Oberflächentemperatur von tierphysiologischen Faktoren (Alter, Laktationsstadium und Milchleistung) zu analysieren, wurde auf die betriebliche Dokumentation (Herdenmanagementprogramm) zurückgegriffen. Informationen zur Laktationsnummer und dem Laktationstag lagen für jeden Tag vor und konnten so den Oberflächentemperaturen an allen Messtagen gegenübergestellt werden. Die Informationen über die tägliche Milchleistung der Tiere wurden der Milchleistungsprüfung (MLP) entnommen. Daher konnte die Gegenüberstellung der Oberflächentemperaturen und der Milchleistung nur an den Tagen erfolgen, an denen die MLP stattfand (einmal pro Monat).

Ausgewertet wurden die Daten für die Körperregion Euter (Euter HL und Euter HR) sowie der Schenkelfläche der Messreihen 1, 3, 5 und für die Klauen der Messreihe 6. Dafür wurden für die einzelnen Parameter zunächst Gruppen gebildet:

- Alter (Laktationsnummer):
  - 1 = 1. Laktation
  - 2 = 2. Laktation
  - 3 =  $\geq 3$ . Laktation
- Laktationsstadium (Laktationstag):
  - 1 =  $\leq 50$  Laktationstage
  - 2 =  $> 50$  und  $\leq 100$  Laktationstage
  - 3 =  $> 100$  und  $\leq 200$  Laktationstage
  - 4 =  $> 200$  und  $\leq 300$  Laktationstage
  - 5 =  $> 300$  Laktationstage
- tägliche Milchleistung nach MLP:
  - 1 =  $\leq 15$  kg Milch/Kuh+Tag
  - 2 =  $> 15$  und  $\leq 25$  kg Milch/Kuh+Tag
  - 3 =  $> 25$  und  $\leq 35$  kg Milch/Kuh+Tag
  - 4 =  $> 35$  kg Milch/Kuh+Tag

Anschließend wurden die Mittelwerte der einzelnen Gruppen mit Hilfe der Varianzanalyse (ANOVA) und anschließendem Post-Hoc-Test nach BONFERRONI verglichen. Dabei galten Mittelwerte als signifikant unterschiedlich, wenn die Irrtumswahrscheinlichkeit  $p < 0,05$  war.

### 3.3.4.2 Ergebnisse

Tabelle 32 zeigt die wichtigsten tierphysiologischen Merkmale der untersuchten Tiere in den einzelnen Messreihen. Es wird deutlich, dass die Milchleistung der Tiere in Messreihe 2 am geringsten war. Die höchste Milchleistung zeigten die Tiere der Messreihe 3, die mit Abstand den geringsten mittleren Laktationstag aufwiesen ( $59 \pm 27$  Tage). In dieser Messreihe wurden überwiegend Jungkühe zu Beginn der Laktation betrachtet. Daher war neben dem geringeren mittleren Laktationstag auch ein geringes Alter (mittlere Laktationsnummer  $1,7 \pm 1,3$  Laktationen) der Tiere feststellbar. In Messreihe 5 und 6 hingegen wurden überwiegend Altkühe betrachtet, so lag die mittlere Laktationsnummer bei 3,5 bzw. 3,6 Laktationen.

**Tabelle 32: Charakteristik der untersuchten Tiere**

		Messreihe					
		1	2	3	4	5	6
N (Tiere)		160	84	249	138	359	176
Milchleistung nach MLP (in kg Milch/Kuh+Tag)	MW	30,7	25,8	37,8	30,2	31,5	29,9
	SD	8,2	8,3	11,7	10,4	9,2	9,3
	Min	7,6	6,0	4,1	7,5	3,1	3,1
	Max	57,7	46,5	74,7	55,7	53,2	53,2
	Spannweite	50,1	40,5	70,6	48,2	50,1	50,1
Laktationstag (in Tagen)	MW	155	193	59	236	123	191
	SD	93	115	27	95	92	87
	Min	42	12	4	43	6	8
	Max	398	473	133	615	456	497
	Spannweite	356	461	129	572	450	489
Laktationsnummer	MW	2,4	2,3	1,7	2,6	3,5	3,6
	SD	1,5	1,5	1,3	1,3	1,5	1,6
	Min	1	1	1	1	1	1
	Max	8	7	9	8	8	8
	Spannweite	8	7	9	8	8	8

### 3.3.4.2.1 Alter

#### Euter

An der Körperregion konnten anhand des Mittelwertvergleiches mittels einfaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) in allen drei Messreihen und bei allen IR-Kenngrößen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) nachgewiesen werden (siehe Tabelle A 9, S.159 f.). Der Post-Hoc-Test nach BONFERRONI zeigte dabei bei allen Messreihen und IR-Kenngrößen signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen 1. Laktation und  $\geq 3$ . Laktation. Abbildung 25 veranschaulicht die Mittelwerte von IR-TempMax\_korr aller drei Messreihen. Dabei wird deutlich, dass Tiere ab der dritten Laktation deutlich niedrigere Mittelwerte als Tiere der ersten Laktation aufweisen.

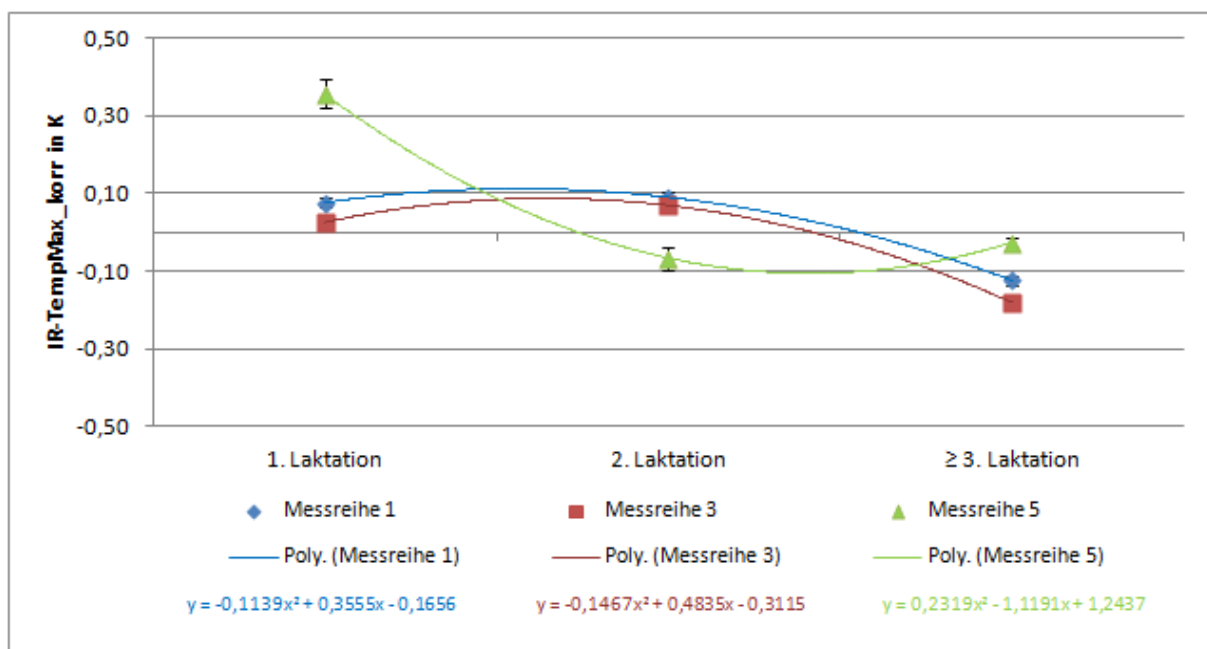


Abbildung 25: Abhängigkeit IR-TempMax\_korr an den Eutern von der Laktationsnummer (dargestellt MW ± SE)

#### Schenkelfläche

An der Körperregion Schenkelfläche wurden signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) anhand der einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) bei allen Messreihen und fast allen IR-Kenngrößen festgestellt (siehe Tabelle A 10, S. 161). Einzige Ausnahme bildete die IR-Kenngröße IR-TempMW der Messreihe 1. Mittels des Post-Hoc-Tests nach BONFERRONI konnten signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) zwischen den Gruppen 1. Laktation und  $\geq 3$ . Laktation bei allen Messreihen und nahezu allen IR-Kenngrößen (Ausnahme: IR-TempMW 1. Messreihe) festgestellt werden. Abbildung 26 veranschaulicht die Mittelwerte von IR-TempMax\_korr in Abhängigkeit vom Alter der Tiere. Aus ihr geht hervor, dass in den Messreihen 1 und 5 die

Tiere ab der dritten Laktation eine geringere Oberflächentemperatur an der Schenkelfläche aufweisen als die Tiere der ersten Laktation. Bei Messreihe 3 trifft dies nur für die nicht um die Umgebungstemperatur korrigierten Werte zu (siehe Tabelle A 10, S. 161 f.).

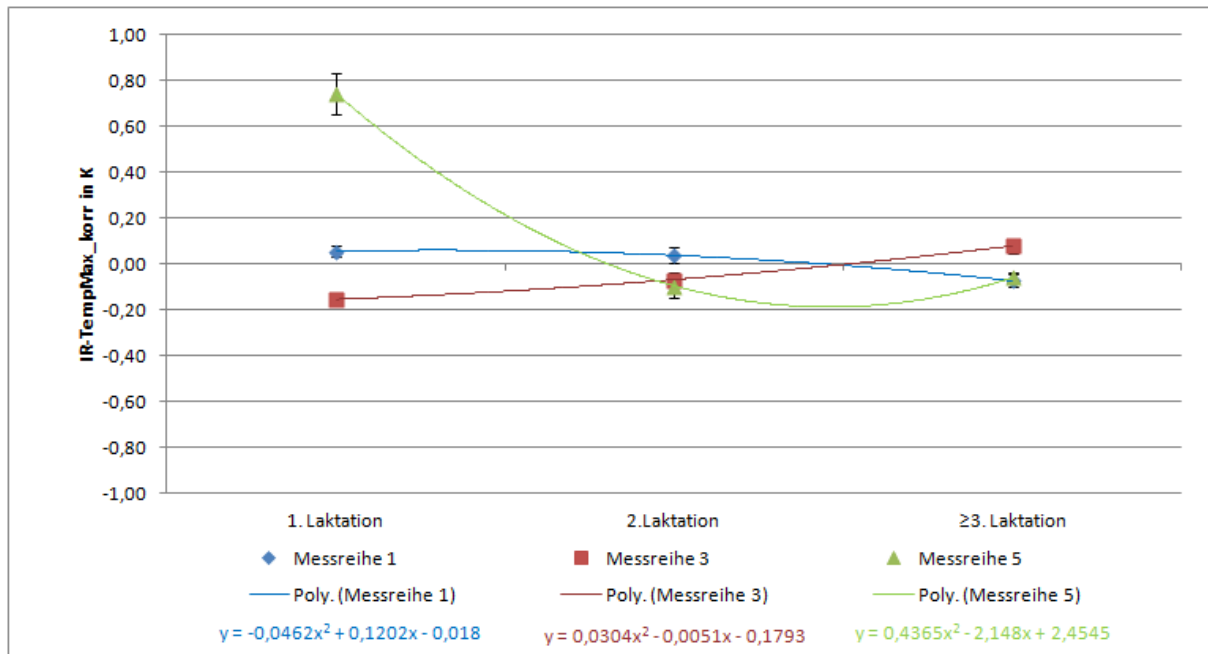


Abbildung 26: Abhängigkeit IR-TempMax\_korr an der Schenkelfläche von der Laktationsnummer (dargestellt MW ± SE)

### Klauen

An der Körperregion der Klauen wurden die Daten der Messreihe 6 ausgewertet, um den Zusammenhang zwischen Oberflächentemperatur und Alter der Tiere darzustellen. Der Mittelwertvergleich der Gruppen (ANOVA) ergab bei allen IR-Kenngrößen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ). Dies ist Tabelle A 11 (S. 163 f.) zu entnehmen. Des Weiteren zeigt diese Tabelle auch die signifikanten Unterschiede ( $p < 0,05$ ) zwischen allen drei Gruppen bei allen IR-Kenngrößen anhand des Post-Hoc-Tests nach BONFERRONI. Veranschaulicht werden diese Unterschiede auch in Abbildung 27. Wobei gezeigt werden konnte, dass die Tiere mit zunehmendem Alter geringere Oberflächentemperaturen an den Klauen aufwiesen.

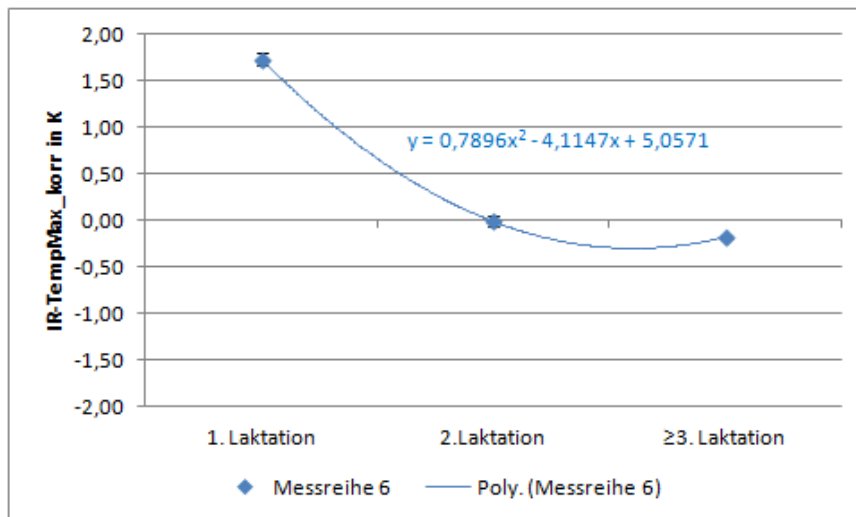


Abbildung 27: Abhängigkeit IR-TempMax\_korr an den Klauen von der Laktationsnummer (dargestellt MW ± SE)

### 3.3.4.2.2 Laktationsstadium

#### Euter

An der Körperregion Euter konnten beim Mittelwertvergleich unterschiedlicher Laktationsstadien bei allen drei ausgewerteten Messreihen und allen IR-Kenngrößen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) festgestellt werden (siehe Tabelle A 12, S 165 f.). In Messreihe 3 wurden nur Tiere zu Laktationsbeginn betrachtet. Daher waren bei dieser Messreihe die Gruppen 4 und 5 (>200 Laktationstage) unbesetzt. Festgestellt werden konnte in jeder der Messreihen, dass die Oberflächentemperaturen mit fortschreitendem Laktationstag geringer wurden. Diesen Sachverhalt veranschaulicht auch Abbildung 28.

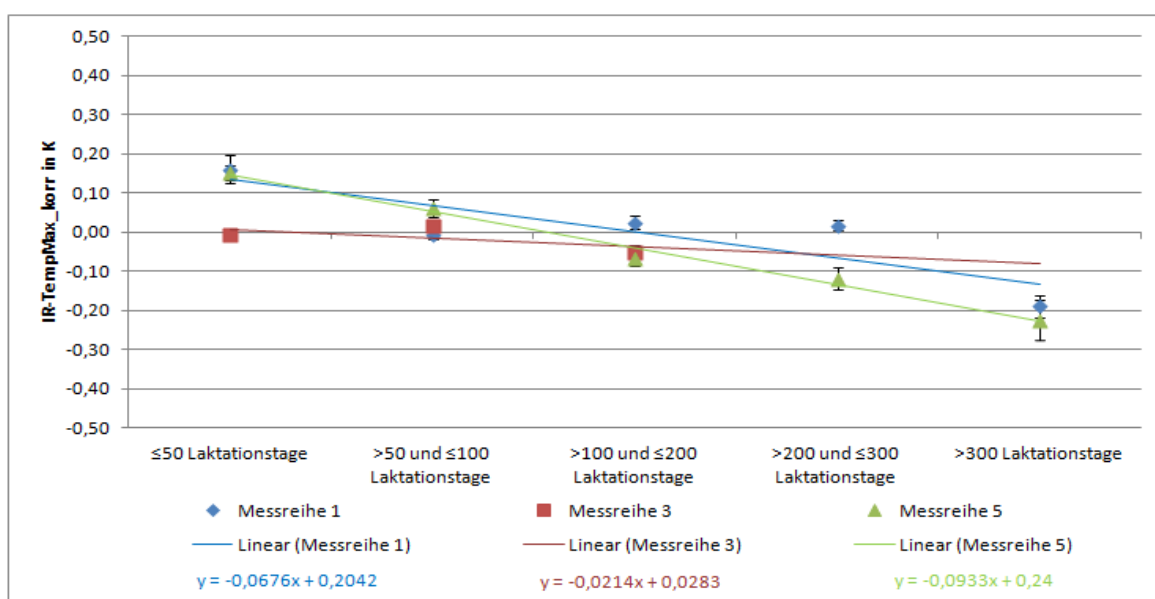
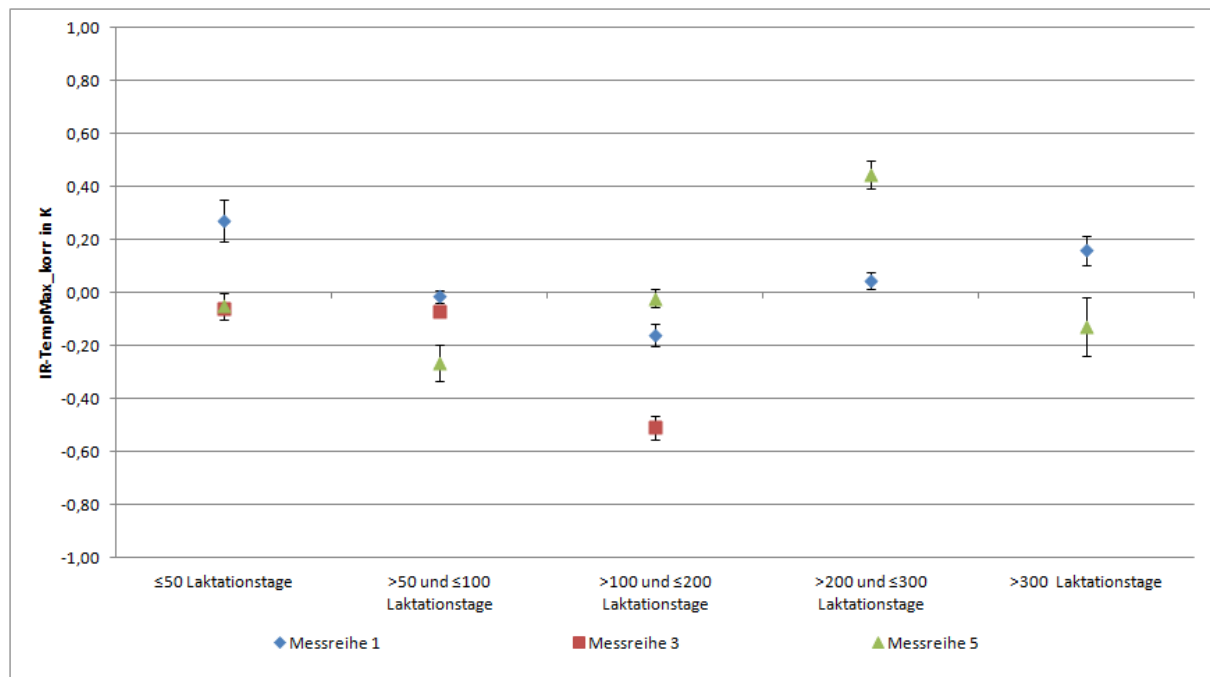


Abbildung 28: Abhängigkeit IR-TempMax\_korr an den Eutern vom Laktationstag (dargestellt MW ± SE)

### *Schenkelfläche*

An der Körperregion Schenkelfläche konnten anhand der einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) zwischen den einzelnen Gruppen der Laktationstage festgestellt werden (siehe Tabelle A 13, S. 167 f.). Die Mittelwerte der Messreihe 1 und 5 zeigten dabei zunächst eine sinkende Oberflächentemperatur zwischen dem 50. und 200. Laktationstag. Ab dem 200. Laktationstag stieg die Oberflächentemperatur wieder an. Dies wird in Abbildung 29 anhand von IR-TempMax veranschaulicht. Die Mittelwerte der Messreihe 3 zeigen bei den nicht um die Umgebungstemperaturen korrigierten Werten einen Anstieg der Oberflächentemperatur bis zum 200. Laktationstag. Dieser Anstieg ist bei den um die Umgebungstemperatur korrigierten Werten nur bis zum 100. Laktationstag sichtbar.



**Abbildung 29: Abhängigkeit IR-TempMax\_korr an der Schenkelfläche vom Laktationstag (dargestellt MW ± SE)**



### Klauen

An der Körperregion Klauen konnten bei allen IR-Kenngrößen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) zwischen den einzelnen Gruppen der Laktationstage mittels einfaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) ermittelt werden (siehe Tabelle A 14, S. 169 f.). Abbildung 30 zeigt die Mittelwerte von IR-TempMax\_korr an den Klauen. Sie veranschaulicht, dass die Oberflächentemperatur an den Klauen mit steigendem Laktationstag zunimmt.

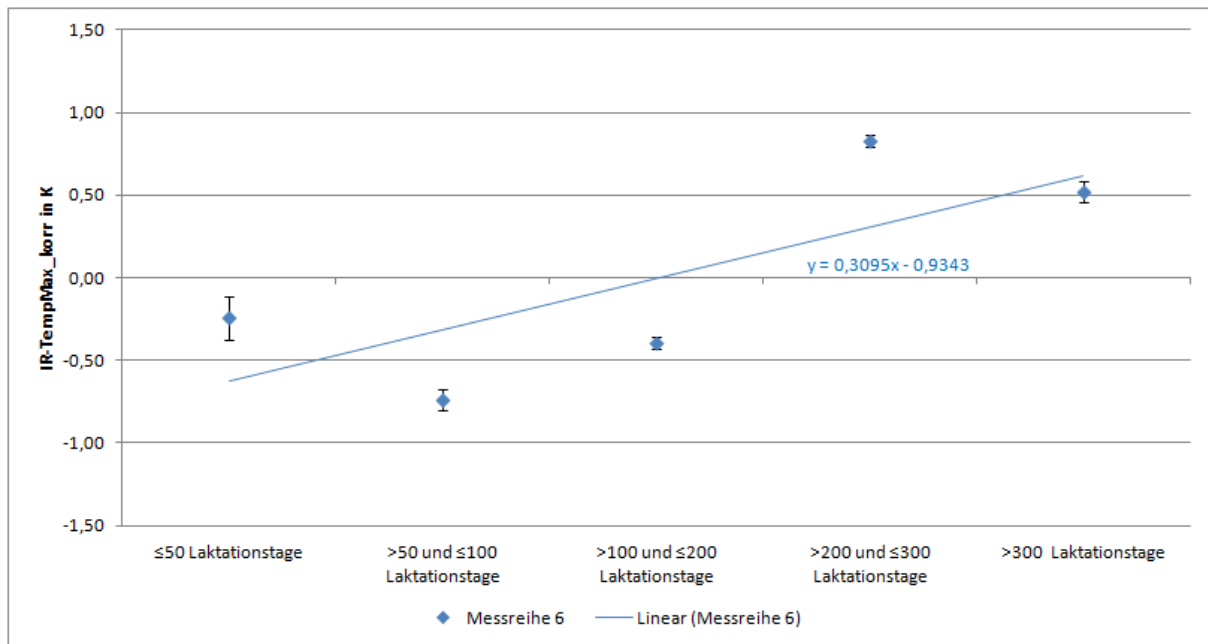


Abbildung 30: Abhängigkeit der IR-Kenngröße IR-TempMax\_korr an den Klauen vom Laktationstag (dargestellt MW±SE)

### 3.3.4.2.3 Milchleistung

#### Euter

An der Körperregion Euter konnten bei der Messreihe 1 keine signifikanten Unterschiede ( $p < 0,05$ ) mittels einfaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) bei IR-TempMW, IR-TempMW\_korr und IR-TempMax\_korr hinsichtlich der täglichen Milchleistung (eingeteilt in Gruppen) festgestellt werden (siehe Tabelle A 15, S. 171 f.). Bei der Messreihe 3 konnten bei keiner der acht IR-Kenngrößen signifikante Unterschiede ermittelt werden. Demgegenüber stehen die Ergebnisse der Messreihe 5, bei der bei allen IR-Kenngrößen signifikante Unterschiede nachgewiesen werden konnten. Der Post-Hoc-Test nach BONFERRONI zeigte die signifikanten Unterschiede bei allen IR-Kenngrößen zwischen den Gruppen mit einer Milchleistung von  $>15$  und  $\leq 25$  kg Milch pro Kuh und Tag (2) und  $>35$  kg Milch pro Kuh und Tag (4). Den Sachverhalt veranschaulicht Abbildung 31.

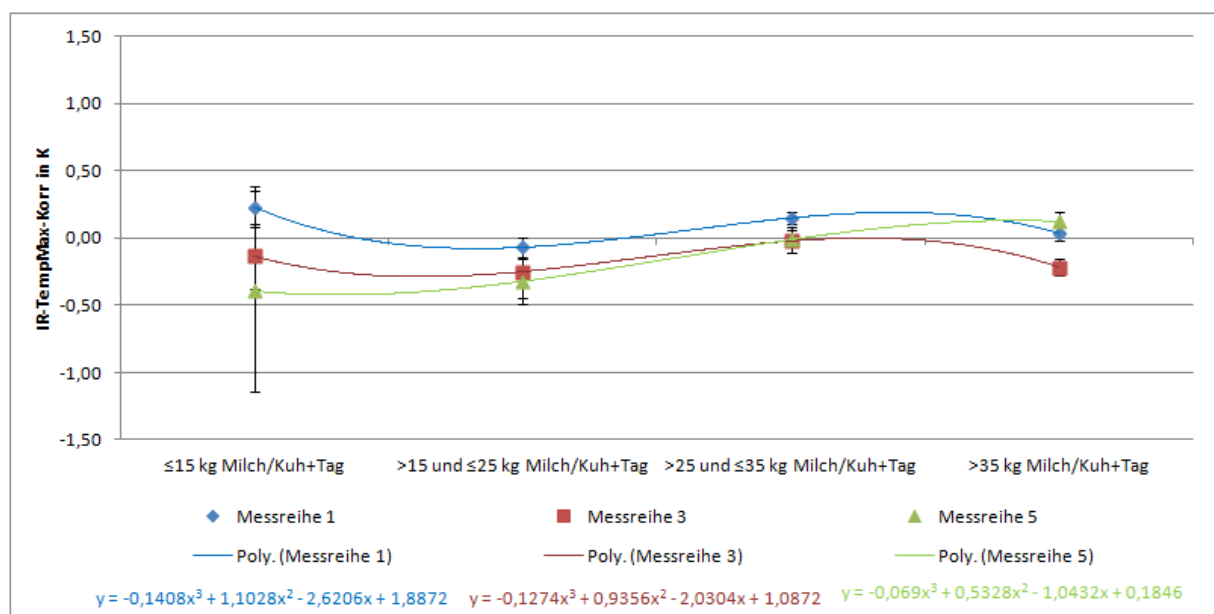


Abbildung 31: Abhängigkeit IR-TempMax\_korr an den Eutern von der Milchleistung (dargestellt MW ± SE)

#### Schenkelfläche

Anhand der einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) konnten an der Schenkelfläche in der Messreihe 1 signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) nur bei drei von acht IR-Kenngrößen (IR-TempMax2, IR-TempMax5, IR-TempMax5\_korr) festgestellt werden (siehe Tabelle A 16, S.173 f.). Jedoch konnten diese durch den Post-Hoc-Tests nach BONFERRONI nicht bestätigt werden. Bei den Mittelwerten der Messreihe 3 und 5 zeigten sich weder bei der einfaktoriellen Varianzanalyse noch beim Post-Hoc-Test nach BONFERRONI signifikante

Unterschiede. Abbildung 32 zeigt die Mittelwerte der IR-Kenngröße IR-TempMax in Abhängigkeit von der Milchleistung. Deutlich wird eine höhere Oberflächentemperatur bei einer Milchleistung von  $\leq 15$  kg Milch pro Kuh und Tag der Messreihe 5. Aufgrund der geringen Anzahl Daten in dieser Gruppe (N=2) konnte der Unterschied nicht als signifikant abgesichert werden und ist demzufolge zu vernachlässigen.

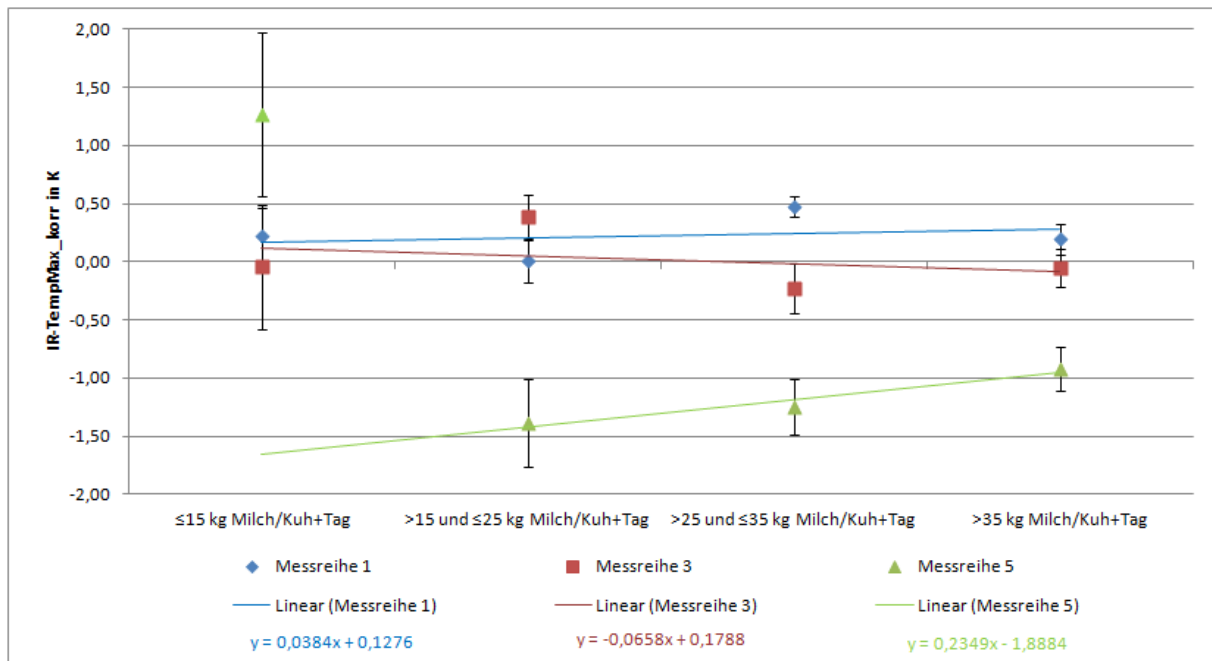


Abbildung 32: Abhängigkeit IR-TempMax\_korr an der Schenkelfläche von der Milchleistung (dargestellt MW  $\pm$  SE)

### Klauen

An der Körperregion Klauen war die Gruppe mit einer Milchleistung von  $\leq 15$  kg Milch pro Kuh und Tag unbesetzt. Bei den verbleibenden drei Leistungsgruppen konnten für die nicht um die Umgebungstemperatur korrigierten IR-Kenngrößen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) mittels einfaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) festgestellt werden (siehe Tabelle A 17, S. 175 f.). Der Post-Hoc-Test nach BONFERRONI zeigte dabei signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen  $>15$  und  $\leq 25$  kg Milch pro Kuh und Tag (2) und  $>35$  kg Milch pro Kuh und Tag (4). Abbildung 33 veranschaulicht den Trend der sinkenden Oberflächentemperatur bei steigender Milchleistung.

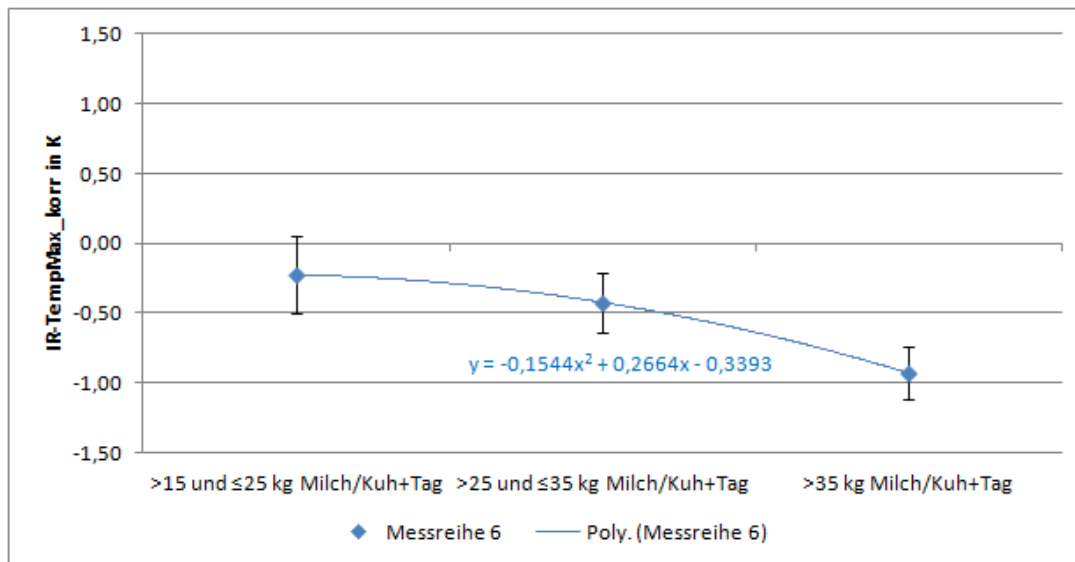


Abbildung 33: Abhängigkeit IR-TempMax\_korr an den Klauen von der Milchleistung (dargestellt MW ± SE)

Die tierphysiologischen Aspekte des Alters (Laktationsnummer) und des Laktationsstadiums (Laktationstag) zeigen einen Einfluss auf die Oberflächentemperatur an den interessanten Körperregionen. Bei der Milchleistung nach MLP konnten nur wenige signifikante Unterschiede zwischen einzelnen Leistungsgruppen und bei nur einigen IR-Kenngrößen nachgewiesen werden. Damit kann ein Einfluss nicht mit Sicherheit angenommen werden.

### 3.4 Gesundheitsmonitoring Eutergesundheit

Um Aussagen zur Eignung der IR-Thermographie als ein Gesundheitsmonitoringsystem machen zu können, mussten den Oberflächentemperaturen Referenzuntersuchungen zur Eutergesundheit gegenübergestellt werden. Zu den ausgewählten anerkannten Referenzuntersuchungen in Bezug auf die Eutergesundheit zählen die viertelspezifische elektrische Leitfähigkeit im Vorgemelk, die somatische Zellzahl und die Ergebnisse der zytobakteriologischen Untersuchung von Viertelgemelksproben.

#### 3.4.1 *Viertelspezifische elektrische Leitfähigkeit*

##### 3.4.1.1 *Material und Methoden*

Zur Beurteilung der Eutergesundheit von einzelnen Eutervierteln wurde die elektrische Leitfähigkeit genutzt. Die Messung dieser erfolgte viertelspezifisch im Vorgemelk. Als Messgerät wurde der Mastitissensor SMS 4010 der Firma IFU Diagnostic Systems GmbH (siehe Abbildung 34) eingesetzt. Gemessen wurde am Melkkarusselleingang nach der Reinigung der Zitzen. Das Messgerät besaß für jedes Euterviertel einen separaten Melkbecher, in welchen jeweils mindestens fünf Milliliter Milch gemolken werden mussten, um eine korrekte Messung sicherzustellen (SCHROTH 2009).



Abbildung 34: Mastitissensor SMS 4010 der Firma IFU Diagnostic Systems GmbH

Alle Messwerte der elektrischen Leitfähigkeit wurden vom Gerät automatisch auf eine Milchttemperatur von 25°C normiert. Die im Gerät gespeicherten Datensätze wurden in eine Access-Datenbank ausgelesen. Jeder Datensatz enthielt neben der elektrischen Leitfähigkeit für jedes Viertel den Melkplatz und die Uhrzeit. Über die Melkreihenfolge aus dem Herdenmanagementprogramm des Betriebes, die neben Melkplatz und Uhrzeit der Melkung auch die Tiernummer enthielt, konnten die elektrischen Leitfähigkeiten den Tieren zugeordnet

werden. Diese Referenzuntersuchung wurde in den Messreihen 1, 3 und 5 durchgeführt. In die Auswertung einbezogen wurden nur die Daten der beiden hinteren Euterviertel, da für diese auch Oberflächentemperaturen gemessen wurden. Die Anzahl der zur Verfügung stehenden Daten ist der Tabelle 33 zu entnehmen.

**Tabelle 33: Übersicht der Messreihen hinsichtlich viertelspezifischer elektrischer Leitfähigkeit**

Bezeichnung	Anzahl Daten elektrische Leitfähigkeit	
Messreihe 1	<i>Euter HL:</i>	6.567
	<i>Euter HR:</i>	6.596
	Summe:	13.163
Messreihe 3	<i>Euter HL:</i>	10.043
	<i>Euter HR:</i>	10.013
	Summe:	20.056
Messreihe 5	<i>Euter HL:</i>	4.580
	<i>Euter HR:</i>	4.639
	Summe:	9.219

Nach der deskriptiven statistischen Auswertung wurden die viertelspezifischen elektrischen Leitfähigkeiten der genannten Messreihen den Oberflächentemperaturen der Euterviertel mit Hilfe der Korrelation nach PEARSON und des Bestimmtheitsmaßes der linearen Regression gegenübergestellt.

#### 3.4.1.2 Ergebnisse

Die Mittelwerte der elektrischen Leitfähigkeit liegen in den einzelnen Untersuchungsreihen trotz unterschiedlicher Anzahl Messungen sehr dicht beieinander (siehe Tabelle 34). So betrug der Mittelwert aus Messreihe 1  $5,89 \pm 0,89$  mS/cm. Demgegenüber stehen die Mittelwerte aus Messreihe 3 ( $5,55 \pm 0,68$  mS/cm) und Messreihe 5 ( $5,62 \pm 0,72$  mS/cm).

**Tabelle 34: Gemessene elektrische Leitfähigkeit**

	Betrieb 1		Betrieb 3
	Messreihe 1	Messreihe 3	Messreihe 5
N	13.163	20.056	9.219
MW in mS/cm	5,89	5,55	5,62
SD in mS/cm	0,89	0,68	0,72
Min in mS/cm	3,50	3,51	3,80
Max in mS/cm	13,18	11,80	15,35
Spannweite in mS/cm	9,68	8,29	11,55

Anhand der Korrelation sowie der linearen Regression konnte in den Messreihen 1, 3 und 5 kein Zusammenhang zwischen den IR-Kenngrößen und elektrischer Leitfähigkeit nachgewiesen werden (siehe Tabelle 35). Deutlich wurde, dass die Korrelationskoeffizienten sehr klein waren ( $r < 0,2$ ) und ein negatives Vorzeichen aufwiesen. Das heißt, mit steigender elektrischer Leitfähigkeit nahm die Oberflächentemperatur an den Eutern ab. Dieser Sachverhalt zeigte sich sowohl bei den nicht um die Umgebungstemperatur korrigierten IR-Kenngrößen als auch bei den korrigierten Werten in beiden untersuchten Betrieben. Die Abbildung 35, Abbildung 36 und Abbildung 37 veranschaulichen den nicht vorhandenen Zusammenhang durch ein Streudiagramm.

**Tabelle 35: Zusammenhang zwischen Oberflächentemperatur an den Eutern und elektrischer Leitfähigkeit**

	Betrieb 1		Betrieb 3	Betrieb 1		Betrieb 3
	Messreihe 1	Messreihe 3	Messreihe 5	Messreihe 1	Messreihe 3	Messreihe 5
N	6.830	14.337	8.728	6.830	14.337	8.728
IR-TempMW				IR-TempMW_korr		
r	-0,16	-0,13	-0,08	-0,07	-0,06	-0,13
R <sup>2</sup>	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,02
IR-TempMax				IR-TempMax_korr		
r	-0,17	-0,11	-0,07	-0,09	-0,04	-0,11
R <sup>2</sup>	0,03	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
IR-TempMax2				IR-TempMax2_korr		
r	-0,18	-	-0,08	-0,16	-	-0,12
R <sup>2</sup>	0,03	-	0,01	0,03	-	0,02
IR-TempMax5				IR-TempMax5_korr		
r	-0,18	-0,12	-0,08	-0,10	-0,06	-0,13
R <sup>2</sup>	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02

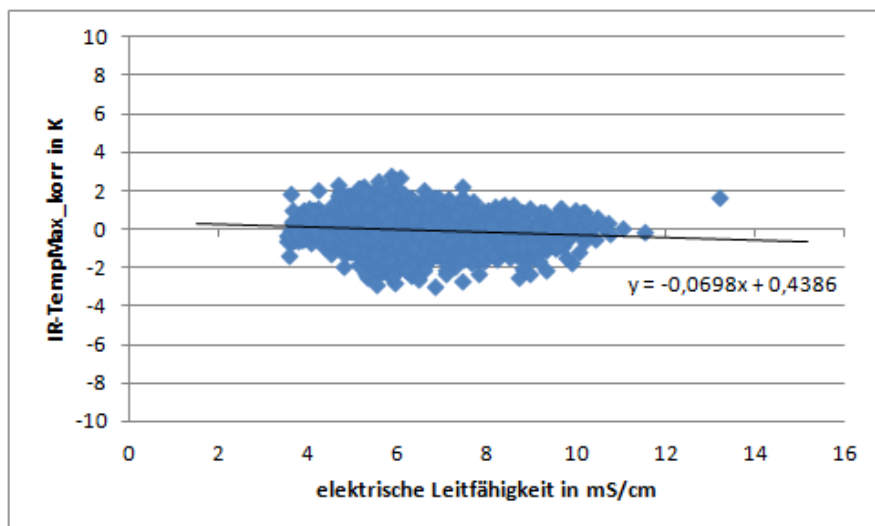


Abbildung 35: IR-Kenngröße IR-TempMax\_korr der Messreihe 1 in Abhängigkeit von der elektrischen Leitfähigkeit

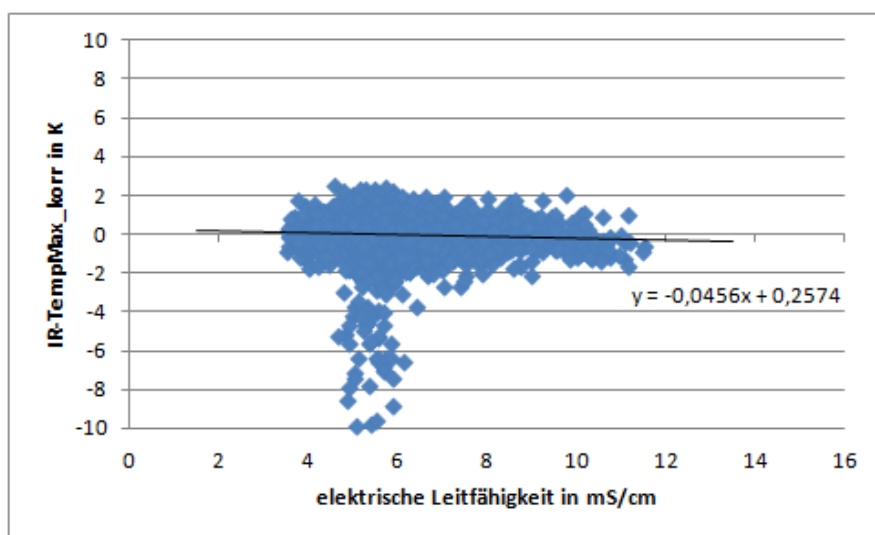


Abbildung 36: IR-Kenngröße IR-TempMax\_korr der Messreihe 3 in Abhängigkeit von der elektrischen Leitfähigkeit

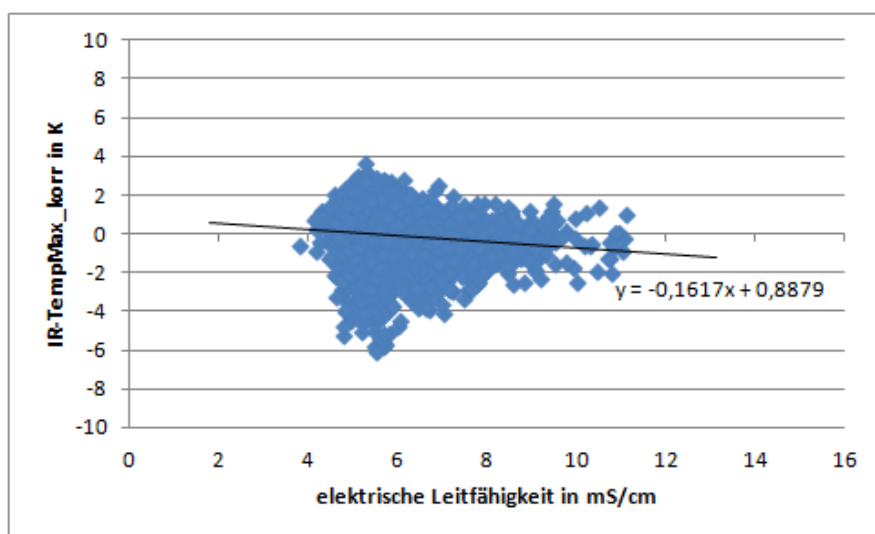


Abbildung 37: IR-Kenngröße IR-TempMax\_korr der Messreihe 5 in Abhängigkeit von der elektrischen Leitfähigkeit



### 3.4.2 Somatische Zellzahl

#### 3.4.2.1 Material und Methoden

Als weiterer Referenzparameter wurde die viertelspezifische somatische Zellzahl in Viertelanfangsgemelken im Labor untersucht. Hierzu wurde in den Proben, die zur zytobakteriologischen Untersuchung gezogen wurden, zur Zellzahlbestimmung genutzt.

Des Weiteren wurden die somatischen Zellzahlen des Gesamtgemelks im Zuge der Milchleistungsprüfung erfasst. Dabei fanden alle Untersuchungen im Milchlabor des Sächsischen Landeskontrollverbandes e.V. statt.

Weiterhin wurden auf der Basis von Gesamtgemelksproben somatische Zellzahlen mit Hilfe des mobilen Zellzahlmessgerätes DCC der Firma DeLaval (siehe Abbildung 38) bestimmt. Hierzu wurden die Milchprobengefäße für die MLP eingesetzt und so die gleiche Gemelksfraktion und –anteil wie bei der MLP beprobt. Unmittelbar nach Beendigung des Melkvorgangs der jeweiligen Kuh wurde die Gesamtgemelksprobe aus dem Probengefäß durch mindestens fünfmaliges Umschütten gut durchmischt. Anschließend wurden mit der Untersuchungskassette der Firma DeLaval 60 µl Milch aufgesogen und in das Gerät gegeben. Dann konnte das Ergebnis der somatischen Zellzahl von der Anzeige des Gerätes DCC abgelesen werden.



**Abbildung 38: Zellzahlmessgerät DCC mit dazugehöriger Untersuchungskassette der Firma DeLaval**

Quelle: DELAVAL, 2011

Zu Beginn der Untersuchung der somatischen Zellzahl mit Hilfe des Gerätes DCC wurde eine Parallelmessung von somatischem Zellzahlgehalt aus dem Gesamtgemelk durch Milchleistungsprüfung und DCC durchgeführt. Dabei konnte eine Korrelation  $r > 0,90$  nachgewiesen werden (siehe Abbildung 39), und folglich konnte das Messgerät DCC zur Einstufung des Eutergesundheitszustandes im Versuch verwendet werden.

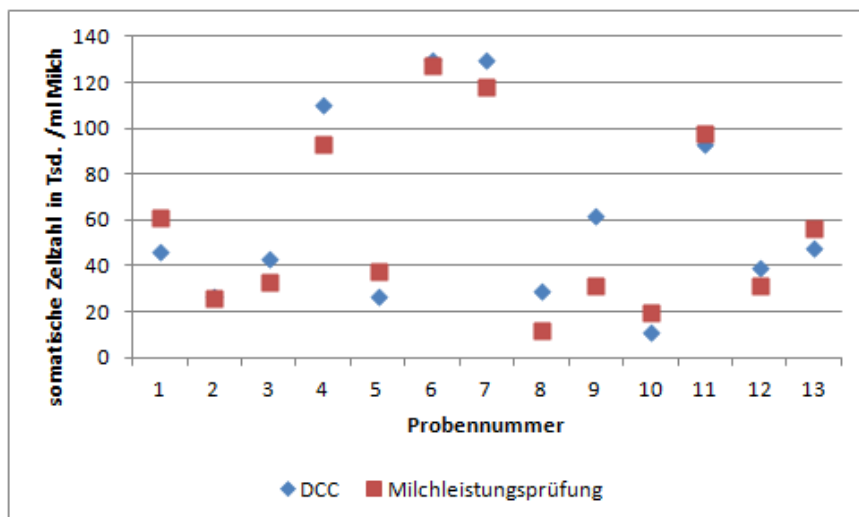


Abbildung 39: Parallelmessung der Zellzahl in DCC und Milchleistungsprüfung

Die somatische Zellzahl als Eutergesundheitsparameter wurde in den Messreihen 1, 3 und 5 erfasst. Die Datensätzen enthielten neben der Zeit der Probenahme, die Tiernummer und die Zellzahlen. Die Anzahl der einbezogenen Daten zeigt Tabelle 36.

Tabelle 36: Übersicht der Messreihen hinsichtlich somatischer Zellzahl

Bezeichnung	Anzahl Daten somatische Zellzahl
Messreihe 1	Viertelgemelksproben: 522
	aus der Milchleistungsprüfung: 237
Messreihe 3	gesamt Zellzahl: 961
	mit DCC von DeLaval: 457
	aus der Milchleistungsprüfung: 504
Messreihe 5	Viertelgemelksproben: 1.261
	aus der Milchleistungsprüfung: 242

Im Anschluss an die deskriptive statistische Auswertung der somatischen Zellzahl wurde diese mit Hilfe der Korrelation nach PEARSON und des Bestimmtheitsmaßes der linearen Regression den Oberflächentemperaturen an den Eutern gegenübergestellt. Um bei der nicht normalverteilten somatischen Zellzahl eine annähernde Normalverteilung zu erreichen, wurde diese nach der international üblichen Formel (3) in den Somatic Cell Score (SCS) umgewandelt:

$$SCS = \log_2 (\text{somatische Zellzahl} / 100.000) + 3 \quad (\text{Formel 3})$$

Genutzt wurden für diese Auswertung der Somatic Cell Score aus den Zellzahlen der Milchleistungsprüfung und der zytobakteriologischen Untersuchung der Messreihen 1 und 5 sowie der Somatic Cell Score der Zellzahlen aus der Milchleistungsprüfung und dem DCC der Messreihe 3.

### 3.4.2.2 Ergebnisse

Bei dem Gehalt an somatischen Zellen aus dem Gesamtgemelk bestimmt durch die Milchleistungsprüfung bzw. das DCC-Gerät sind die Mittelwerte in den drei Untersuchungsreihen sehr unterschiedlich (siehe Tabelle 37). So konnte in Messreihe 1 bei den Versuchstieren eine mittlere somatische Zellzahl von  $574 \pm 1486$  Tsd. Zellen pro ml im Gesamtgemelk ermittelt werden. In Messreihe 3 betrug der Mittelwert der somatischen Zellzahl  $219 \pm 580$  Tsd. Zellen pro ml. In Messreihe 5 konnte der geringste mittlere Zellgehalt von  $175 \pm 463$  Tsd. Zellen pro ml im Gesamtgemelk festgestellt werden. Die somatische Zellzahl aus Viertelgemelksproben wurde nur in Messreihe 1 und 5 erfasst (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Hieraus geht hervor, dass die Mittelwerte im Viertelgemelk der hinteren beiden Euterviertel annähernd gleich sind ( $392 \pm 1.990$  Tsd. Zellen pro ml vs.  $383 \pm 1.451$  Zellen pro ml Milch).

**Tabelle 37: Gemessene somatische Zellzahl**

	Betrieb 1		Betrieb 3
	Messreihe 1	Messreihe 3	Messreihe 5
somatische Zellzahl aus Gesamtgemelk			
N	280	961	242
MW in Tsd./ml Milch	574	219	175
SD in Tsd./ml Milch	1486	580	463
Min in Tsd./ml Milch	7	3	8
Max in Tsd./ml Milch	9999	9999	5826
Spannweite in Tsd./ml Milch	9992	9996	5818
somatische Zellzahl aus Viertelgemelksproben			
N	522	-	1.261
MW in Tsd./ml Milch	392	-	383
SD in Tsd./ml Milch	1990	-	1451
Min in Tsd./ml Milch	2	-	4
Max in Tsd./ml Milch	22207	-	19914
Spannweite in Tsd./ml Milch	22205	-	19910

Zunächst wurden die Korrelationen zwischen Oberflächentemperatur und Somatic Cell Score aus dem Gesamtgemelk (Milchleistungsprüfung bzw. DCC) der Messreihen 1, 3 und 5 betrachtet (siehe Tabelle 38). Aus der genannten Tabelle geht hervor, dass die Korrelationen sowohl für die nicht um die Umgebungstemperatur korrigierten IR-Kenngrößen als auch für die korrigierten Werte sehr gering waren. In Messreihe 1 erreichten sie bei IR-TempMW den höchsten Wert mit  $r=0,21$ . In den Messreihen 3 und 5 waren sie noch geringer ( $r < 0,1$ ). Damit konnte anhand dieser Daten in beiden Untersuchungsbetrieben kein Zusammenhang nachgewiesen werden.

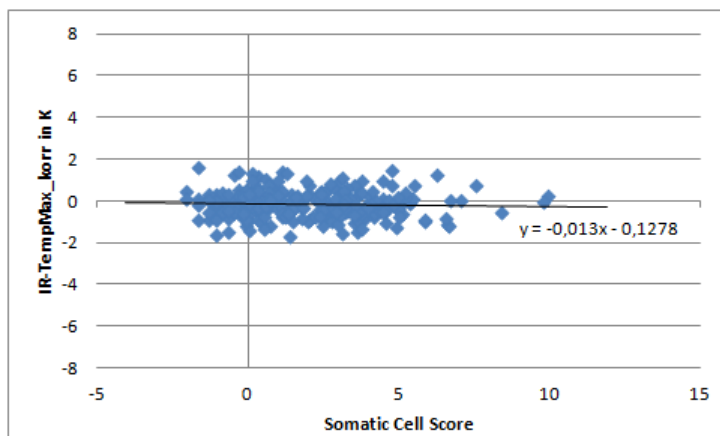
**Tabelle 38: Zusammenhang zwischen Oberflächentemperatur an den Eutern und Somatic Cell Score aus Gesamtgemelk**

	Betrieb 1		Betrieb 3	Betrieb 1		Betrieb 3
	Messreihe 1	Messreihe 3	Messreihe 5	Messreihe 1	Messreihe 3	Messreihe 5
N	146	1.186	311	146	1.186	311
IR-TempMW			IR-TempMW_korr			
r	0,21	0,02	0,03	0,20	-0,01	-0,02
R <sup>2</sup>	0,04	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
IR-TempMax			IR-TempMax_korr			
r	0,14	0,03	0,04	0,13	0,01	0,00
R <sup>2</sup>	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
IR-TempMax2			IR-TempMax2_korr			
r	0,17	-	0,01	0,16	-	-0,03
R <sup>2</sup>	0,03	-	0,00	0,03	-	0,00
IR-TempMax5			IR-TempMax5_korr			
r	0,19	0,02	0,02	0,18	0,00	-0,02
R <sup>2</sup>	0,04	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00

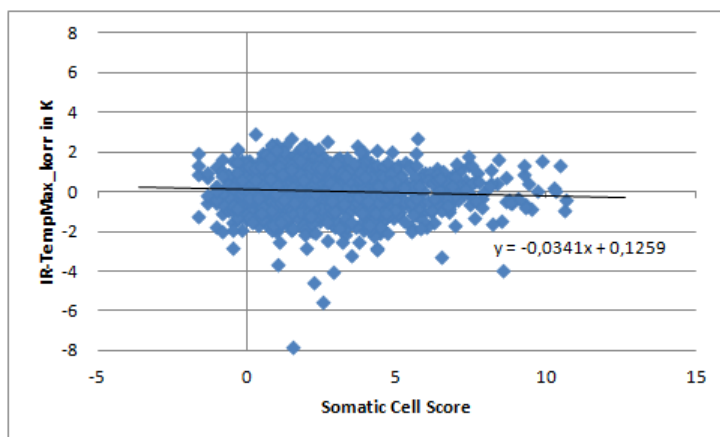
Die statistische Auswertung für die viertelspezifische somatische Zellzahl aus dem Viertelanfangsgemelk wurde adäquat zur Betrachtung der somatischen Zellzahl aus dem Gesamtgemelk durchgeführt (siehe Tabelle 39). Ergebnis der Untersuchung war, dass die Korrelationskoeffizienten zwischen Oberflächentemperatur an den Eutern und des Somatic Cell Score sehr gering waren ( $r < 0,1$ ). Dies konnte sowohl für um die Umgebungstemperatur korrigierten IR-Kenngrößen als auch für die nicht korrigierten Werte nachgewiesen werden. Dabei trugen alle Korrelationskoeffizienten ein negatives Vorzeichen. Dieser leicht negative Trend wird auch in Abbildung 40 und Abbildung 41 deutlich, so dass mit steigendem Somatic Cell Score die Oberflächentemperatur abnimmt. Damit war in beiden Untersuchungsbetrieben kein Zusammenhang zwischen Oberflächentemperatur und viertelspezifischem Somatic Cell Score nachweisbar.

**Tabelle 39: Zusammenhang zwischen Oberflächentemperatur an den Eutern und Somatic Cell Score aus Viertelanfangsgemelk**

	Betrieb 1	Betrieb 3	Betrieb 1	Betrieb 3
	Messreihe 1	Messreihe 5	Messreihe 1	Messreihe 5
N	273	1.064	273	1.064
IR-TempMW			IR-TempMW_korr	
r	-0,01	-0,04	-0,04	-0,08
R <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,00	0,01
IR-TempMax			IR-TempMax_korr	
r	-0,02	-0,04	-0,05	-0,08
R <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,00	0,01
IR-TempMax2			IR-TempMax2_korr	
r	-0,04	-0,04	-0,15	-0,08
R <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,02	0,01
IR-TempMax5			IR-TempMax5_korr	
r	-0,04	-0,03	-0,08	-0,08
R <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,01	0,01



**Abbildung 40: IR-Kenngröße IR-TempMax\_korr an den Eutern der Messreihe 1 in Abhängigkeit vom Somatic Cell Score**



**Abbildung 41: IR-Kenngröße IR-TempMax\_korr an den Eutern der Messreihe 5 in Abhängigkeit vom Somatic Cell Score**

### 3.4.3 Zytobakteriologische Untersuchung von Viertelgemelksproben

#### 3.4.3.1 Material und Methoden

Als weiterer Referenzparameter zur Feststellung der Eutergesundheit wurden die Befunde der zytobakteriologischen Untersuchung von Viertelanfangsgemelkproben der hinteren Euterviertel genutzt. Die Probenentnahme erfolgte am Melkkarusselleingang nach den Richtlinien der DEUTSCHEN VETERINÄRMEDIZINISCHEN GESELLSCHAFT (2008).

Aufgrund der Anzahl zytobakteriologischer Untersuchungen wurden abhängig von der Laborkapazität zum Untersuchungszeitpunkt die Milchproben aus Messreihe 1 und 5 in zwei akkreditierte Labore verschickt. Mit der Untersuchung der Milchproben wurde das Labor des Landeskontrollverbandes für Leistungs- und Qualitätsprüfung Sachsen-Anhalt e.V. und die Landwirtschaftliche Kommunikations- und Servicegesellschaft mbH beauftragt. Die Anzahl der untersuchten Proben sind in Tabelle 40 dargestellt. Jeder Datensatz enthält neben der Messzeitnummer zur Probenentnahme, die Tiernummer und das entsprechende Viertel.

**Tabelle 40: Übersicht der Messreihen hinsichtlich zytobakteriologischer Untersuchung**

Bezeichnung	Anzahl Daten zytobakteriologische Untersuchung
Messreihe 1	<i>Euter HL:</i> 261
	<i>Euter HR:</i> 261
	Summe: 522
Messreihe 5	<i>Euter HL:</i> 660
	<i>Euter HR:</i> 667
	Summe: 1.327

Für die Untersuchung der Oberflächentemperaturen in Zusammenhang mit den Ergebnissen der zytobakteriologischen Untersuchung der Viertelanfangsgemelke wurden die Befunde in vier verschiedene Kategorien in Anlehnung an die Richtlinien der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft eingeteilt (HAMANN & FEHLINGS, 2002, siehe Tabelle 41):

- 1) Kategorie 1 (normale Sekretion) beschreibt die Proben, die einen Gehalt an somatischen Zellen <100 Tsd. pro ml Milch aufwiesen und bei denen kein euterpathogener Erreger nachweisbar war.
- 2) Kategorie 2 entspricht der latenten Infektion, also kein erhöhter Gehalt an somatischen Zellen aber euterpathogene Mikroorganismen sind nachweisbar.
- 3) Die dritte Kategorie ist die unspezifische Mastitis, bei der zwar ein erhöhter Gehalt an somatischen Zellen feststellbar, aber kein Erreger nachweisbar ist.

- 4) Die Mastitis mit einem erhöhten Gehalt an somatischen Zellen (>100 Tsd. Zellen pro ml Milch) und einem nachgewiesenen Erreger wird durch die Kategorie 4 beschrieben.

**Tabelle 41: Beurteilung zytobakteriologischen Untersuchungsbefunde nach DVG**

somatische Zellzahl pro ml Milch	euterpathogene Mikroorganismen	
	nicht nachgewiesen	nachgewiesen
< 100.000	normale Sekretion (1)	latente Infektion (2)
> 100.000	unspezifische Mastitis (3)	Mastitis (4)

Quelle: HAMANN & FEHLINGS (2002)

Zur Darstellung des Zusammenhangs wurden die Mittelwerte der Oberflächentemperaturen abhängig von der Mastitiskategorie mit Hilfe der Varianzanalyse (ANOVA) verglichen und anschließend die Gruppenunterschiede durch Post-Hoc-Test nach BONFERRONI dargestellt. Dabei galt eine Irrtumswahrscheinlichkeit  $p < 0,05$  als signifikant.

Des Weiteren wurden die Daten hinsichtlich Unterschieden zwischen verschiedenen Befunden der zytobakteriologischen Untersuchung analysiert. Dazu mussten die Daten zunächst neu gruppiert werden. Euterviertel mit normaler Sekretion wurden der Gruppe 0 („gesunde“ Euterviertel) zugeordnet. Euterviertel mit latenter Infektion, unspezifischer Mastitis und Mastitis wurden der Gruppe 1 (veränderte Sekretion somit „kranke“ Euterviertel) zugeteilt. Aus Messreihe 1 wurden alle Daten in die Auswertung einbezogen und aus Messreihe 5 die Daten von pluriparen Tieren, da die Anzahl der Daten von Tieren der ersten Laktation sehr gering war.

Zur besseren Kennzeichnung werden nachfolgend bei der Modellangabe zufällige Effekte unterstrichen. Das Auswertungsmodell entsprach einem Testtagsmodell der folgenden Gestalt (Formel 4):

$$y_{ijk} = TT_i + \beta_{0j} + \beta_{1j} \cdot x_1(t) + \beta_{2j} \cdot x_2(t) + \beta_{3j} \cdot x_3(t) + \underline{u}_{jk} + \underline{e}_{ijk} \quad (\text{Formel 4})$$

$y_{ijk}$	Beobachtung an Tier k (für das IR-Merkmal)
$TT_i$	fester Effekt von Testtag i
$\beta_{0j}$	fester Effekt von Gruppe j (Gruppe 0 und 1)
$\beta_{1j}, \beta_{2j}, \beta_{3j}$	fixe Regressionskoeffizienten
t	standardisierte Umgebungstemperatur (UT) (mit $t = UT / \text{maximale UT}$ )
$\underline{u}_{jk}$	zufälliger Effekt von Kuh k aus Gruppe j
$\underline{e}_{ijk}$	zufälliger Resteffekt

Für die drei Kovariablen in Modell (4) gilt:  $x_1(t) = t$ ;  $x_2(t) = t^2$ ;  $x_3(t) = t^3$ . Zur Beschreibung des Zusammenhanges zwischen Umgebungstemperatur und IR-Kenngröße wird also eine

kubische Regressionsfunktion verwendet, deren Regressionskoeffizienten als spezifisch für jede Gruppe angesehen werden.

Die Analyse der IR-Daten wurde unter Verwendung von Modell (4) mit Hilfe der Prozedur Mixed des SAS-Programmpaketes (SAS, 2008) durchgeführt. Die Schätzung der festen Effekte in Modell (4) erfolgte mit der verallgemeinerten Methode der kleinsten Quadrate („Generalized Least-Square“ (GLS)-Methode (SEARLE, 1971)) bei Verwendung von Varianzkomponenten geschätzt mit der Restricted Maximum Likelihood (REML)-Methode (PATTERSON & THOMPSON, 1971). Die Schätzwerte für die Mittelwerte der Gruppen basierend auf der GLS-Methode werden nachfolgend wie in der einschlägigen Literatur üblich als Least-Square Means (LSMeans) bezeichnet. Die LSMeans der Gruppen wurden für unterschiedliche IR-Kenngrößen bei Nutzung von Modell (4) berechnet. Zum Einen erfolgte die Berechnung zur mittleren Umgebungstemperatur, also gemittelt über alle Temperaturwerte beobachtet für die beiden Gruppen. Zum Anderen erfolgte die Berechnung für ausgewählte Werte der Umgebungstemperatur aus dem Beobachtungsintervall zwischen 13°C und 22°C. Differenzen zwischen den LSMeans mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit (p-value) kleiner als 0,05 wurden als signifikant angesehen.

### 3.4.3.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der zytobakteriologischen Untersuchung liegen für die Messreihen 1 und 5 vor (siehe Tabelle 42). Aus dieser Tabelle geht hervor, dass in beiden Messreihen 56% der Proben als normale Sekretion eingestuft wurden. Während jeweils 44% der Proben eine latente Infektion bzw. eine Art von Mastitis aufwiesen.

**Tabelle 42: Ergebnis der zytobakteriologischen Untersuchung**

	Betrieb 1		Betrieb 3	
	Messreihe 1		Messreihe 5	
N gesamt	519		1.261	
normale Sekretion	293	(56%)	709	(56%)
latente Infektion	60	(12%)	89	(7%)
unspezifische Mastitis	123	(24%)	301	(24%)
Mastitis	43	(8%)	162	(13%)



Tabelle A 18 (S. 177) zeigt die Mittelwerte der Oberflächentemperaturen für die beiden ausgewerteten Messreihen. Aus ihr geht hervor, dass die Kategorien unspezifische Mastitis und Mastitis bei allen IR-Kenngrößen geringere Werte zeigen als die Kategorien normale Sekretion und latente Infektion. Für IR-TempMax\_korr ist dies auch in Abbildung 42 dargestellt. Sie zeigt einen negativen Trend der mittleren Oberflächentemperaturen mit zunehmender Schwere der Milchdrüsenentzündung in beiden Messreihen. Der Mittelwertvergleich ergab keine signifikanten Unterschiede in Messreihe 1 (siehe Tabelle A 19, S. 178 f.). In Messreihe 5 konnten bei allen um die Umgebungstemperatur korrigierten IR-Kenngrößen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) nachgewiesen werden. Der Post-Hoc-Test nach BONFERRONI ergab, dass die Unterschiede zwischen normaler Sekretion und unspezifischer Mastitis signifikant waren.

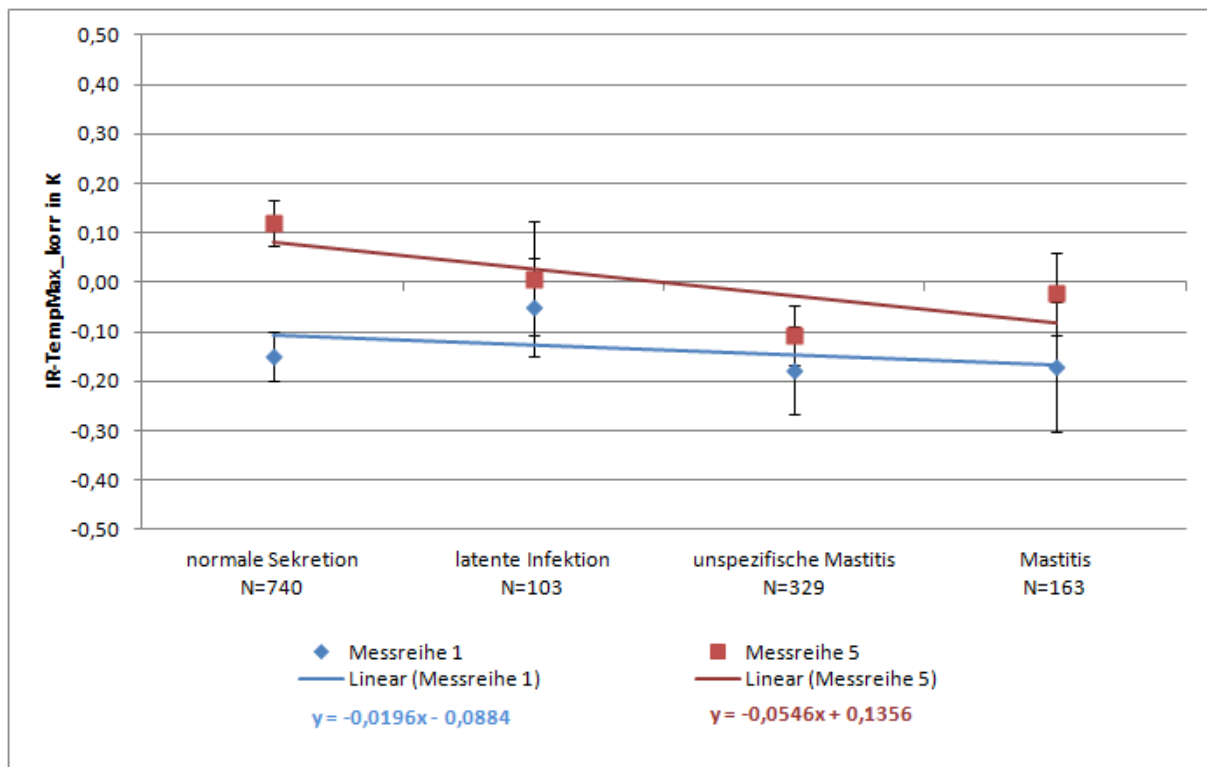


Abbildung 42: Mittelwerte IR-TempMax\_korr in Abhängigkeit vom Ergebnis der zytobakteriologischen Untersuchung (dargestellt MW ± SE)

Geringere Oberflächentemperaturen von Eutervierteln mit latenter Infektion, unspezifischer Mastitis und Mastitis (Gruppe 1) gegenüber Eutervierteln mit normaler Sekretion (Gruppe 0) ergaben auch die Schätzwerte nach der GLS-Methode (siehe Tabelle 43). Dabei waren die Differenzen sehr gering und damit alle Unterschiede zwischen den Gruppen nicht signifikant. Nach der gleichen Methode wurden auch Schätzwerte für bestimmte Umgebungstemperaturen berechnet und die Differenzen zwischen den Gruppen bestimmt (siehe Tabelle A 20, S. 180;

Tabelle A 21, S. 181). Abbildung 43 und Abbildung 44 zeigen die LSMeans bei verschiedenen Umgebungstemperaturen in einem Bereich von 13°C bis 22°C. Anhand der Abbildungen und der berechneten p-values wird deutlich, dass bei Messreihe 1 keine signifikanten Unterschiede vorhanden waren. In Messreihe 5 hingegen waren die Differenzen der LSMeans von IR-TempMW bei Umgebungstemperaturen von 16°C bis 18°C signifikant, für die weiteren drei IR-Kenngrößen sogar für Umgebungstemperaturen von 16°C bis 19°C. Auch hier waren die Oberflächentemperaturen der Euterviertel mit veränderter Sekretion geringer als die von Eutervierteln mit normaler Sekretion.

**Tabelle 43: LSMeans und deren Differenzen (mit p-value) für IR-Kenngrößen an den Eutern**

Gruppe	Betrieb 1			Betrieb 3		
	Messreihe 1 (N=276)			Messreihe 5 (N=988)		
	LSMeans	Differenz	p-value	LSMeans	Differenz	p-value
IR-TempMW						
normale Sekretion	32,68	0,00	0,977	30,56	0,09	0,174
veränderte Sekretion	32,68			30,47		
IR-TempMax						
normale Sekretion	34,27	0,01	0,920	32,52	0,09	0,130
veränderte Sekretion	34,26			32,43		
IR-TempMax2						
normale Sekretion	33,88	0,01	0,841	32,16	0,10	0,091
veränderte Sekretion	33,87			32,06		
IR-TempMax5						
normale Sekretion	33,69	0,01	0,985	31,93	0,10	0,098
veränderte Sekretion	33,68			31,83		

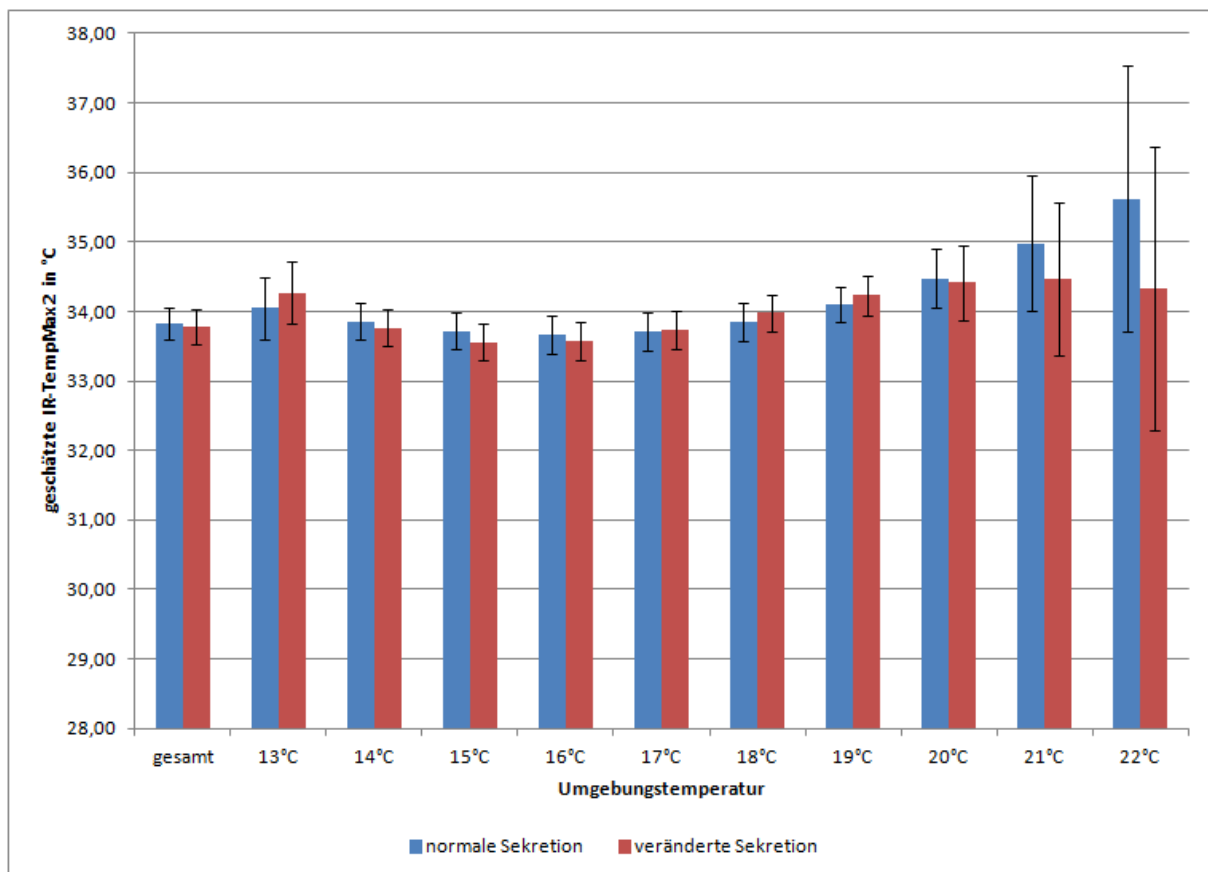


Abbildung 43: LSMeans (LSM) der gesunden und kranken Euterviertel anhand IR-TempMax2 der Messreihe 1 nach unterschiedlichen Umgebungstemperaturen (dargestellt als  $LSM \pm SE$ )

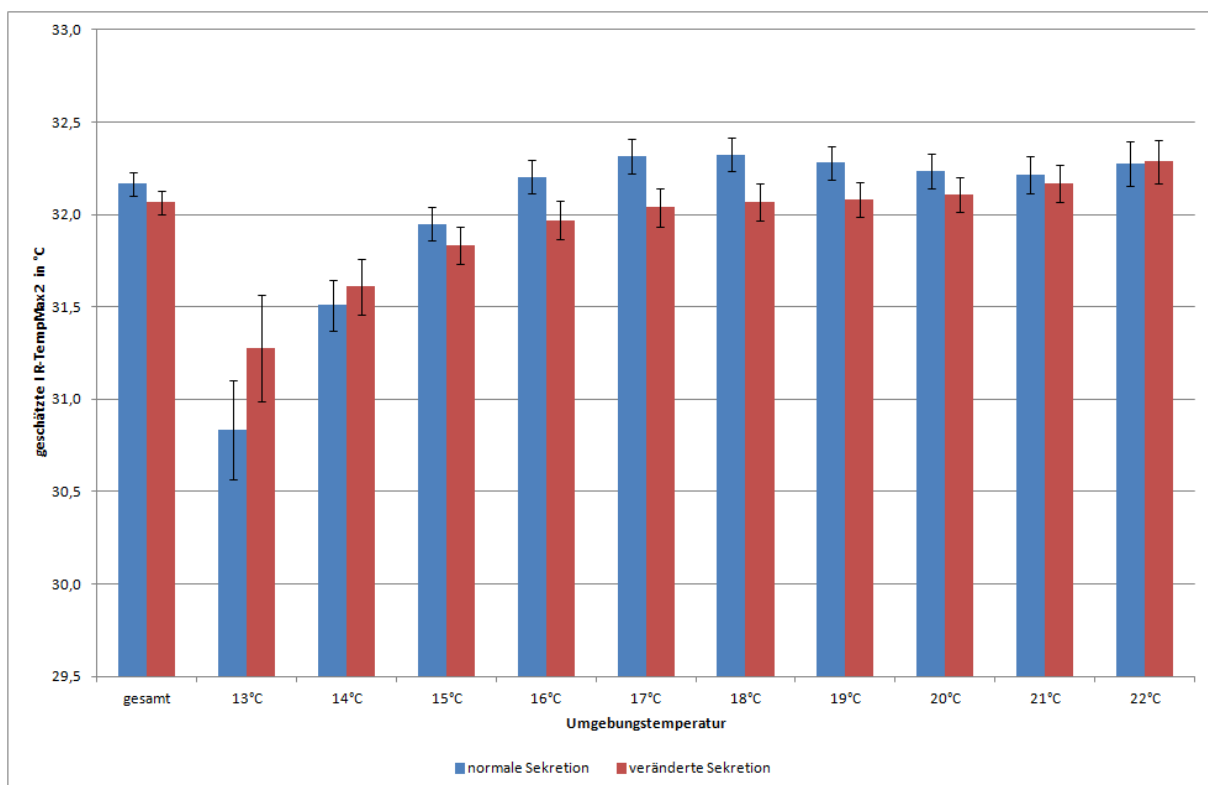


Abbildung 44: LSMeans (LSM) der gesunden und kranken Euterviertel anhand IR-TempMax2 der Messreihe 5 nach unterschiedlichen Umgebungstemperaturen (dargestellt als  $LSM \pm SE$ )

### 3.5 Gesundheitsmonitoring Klauengesundheit

Zur Beurteilung der Klauengesundheit wurden zwei Referenzuntersuchungen angewendet. Zum einen wurde der Gang bonitiert (Locomotionscore) und zum anderen wurden die Klauen im Klauenpflegestand auf vorhandene Klauenerkrankungen hin untersucht.

#### 3.5.1 Locomotionscore

##### 3.5.1.1 Material und Methoden

Als eine Referenzuntersuchung zur Klauengesundheit wurde die Lahmheit der Tiere bewertet. Das Scoring erfolgte nach SPRECHER ET AL. (1997). Der Lahmheitscore bestand dabei aus einem fünfstufigen Notensystem von 1 (normaler Gang) bis 5 (schwere Lahmheit). Besondere Beachtung fand in der Beurteilung die Rückenlinie. Zur Verdeutlichung der Bonitur gibt Tabelle 44 die Beschreibung der Noten wieder. Beobachtet wurden die Milchkühe beim Verlassen des Melkstandes auf dem Treibgang auf ebenem und griffigem Untergrund. Die Beobachtung nach dem Melken war zu diesem Zeitpunkt und dieser Stelle besonders günstig, da sie so nach der Melkung immer zur gleichen Tageszeit durchgeführt werden konnte, der Gang der Tiere nicht durch ein gefülltes Euter beeinträchtigt war, die Tiere einzeln und unabhängig von Unterbrechungen durch Routinearbeiten im Stall bewertet werden konnten. Außerdem wurden die Tiere immer von derselben Person beurteilt, was die Variabilität der Noten zusätzlich einschränkte. In Messreihe 6 erfolgten insgesamt 1.718 Bewertungen. Dabei enthielt der Datensatz die Tier- und Messzeitnummer sowie die entsprechende Note.

**Tabelle 44: Noten des Lahmheitsscore**

Bewegungsnote	Klinische Beschreibung	Beschreibung
1	normal	Rücken im Stehen und beim Laufen ungekrümmt
2	leicht lahm	im Stehen ist der Rücken ungekrümmt, beim Gehen jedoch leicht gekrümmt, Gang ist leicht abnormal
3	mittelmäßig lahm	Rücken im Stehen und beim Laufen gekrümmt, macht mit einem oder mehreren Beinen kürzere Schritte
4	lahm	Rücken im Stehen und beim Laufen gekrümmt, tritt auf einem oder mehreren Beinen nur noch teilweise auf
5	schwer lahm	gekrümmter Rücken, belastet ein Bein nicht mehr, steht nicht mehr oder nur unter großen Schwierigkeiten auf

Quelle: SPRECHER et al. (1997)

Der Zusammenhang zwischen Locomotionscore und Oberflächentemperatur der Klauen wurde mit Hilfe des Mittelwertvergleiches der einzelnen Locomotionscorenoten dargestellt. Die Varianzanalyse (ANOVA) diente dem Vergleich der Oberflächentemperatur in

Abhängigkeit vom Locomotionscore. Der angeschlossene Post-Hoc-Test nach BONFERRONI stellte die Gruppenunterschiede dar. Bei beiden Tests galt eine Irrtumswahrscheinlichkeit  $p < 0,05$  als signifikant.

### 3.5.1.2 Ergebnisse

Die Bewertung des Ganges der Milchkühe mit Hilfe des Locomotionscores wurde nur in Messreihe 6 angewendet. Anhand der 1.718 Boniturnoten konnten 40% der Beobachtungen als normalgehend eingestuft werden (siehe Tabelle 45). Dazu zeigten 42% der beobachteten Tiere eine leichte Lahmheit. In 13% der Fälle war eine mittelmäßige Lahmheit zu protokollieren. Nur 5% der beurteilten Tiere zeigten eine ausgeprägte Lahmheit (4%) bzw. schwere Lahmheit (1%).

**Tabelle 45: Absolute und relative Häufigkeit der Locomotionscorenoten**

Locomotionscore	Häufigkeit	
	absolut (Tiere)	relativ
1	680	40%
2	724	42%
3	224	13%
4	75	4%
5	15	1%

Die Ergebnisse des Mittelwertvergleiches sind in Tabelle A 22 (S. 182) zusammengefasst. Abbildung 45 zeigt die Mittelwerte veranschaulicht für IR-TempMax\_korr. Die Varianzanalyse zeigte bei allen IR-Kenngrößen signifikante Unterschiede. Der Post-Hoc-Test nach BONFERRONI erbrachte bei IR-TempMax, IR-TempMax2 und IR-TempMax5 signifikante Unterschiede zwischen der Locomotionscorenote 2 (leicht lahm) und 3 (mittelmäßig lahm). Bei allen um die Umgebungstemperatur korrigierten Werten unterscheiden sich diese beiden Gruppen ebenfalls signifikant (siehe Tabelle A 23, S. 183 f.). Darüber hinaus unterschieden sich auch noch die Gruppen leicht lahm (2) und lahm (4). Dabei zeigen die Klauen von Tieren mit mittelmäßiger Lahmheit und Lahmheit höhere Oberflächentemperaturen als die Klauen der normal gehenden bzw. leicht lahmen Tiere.

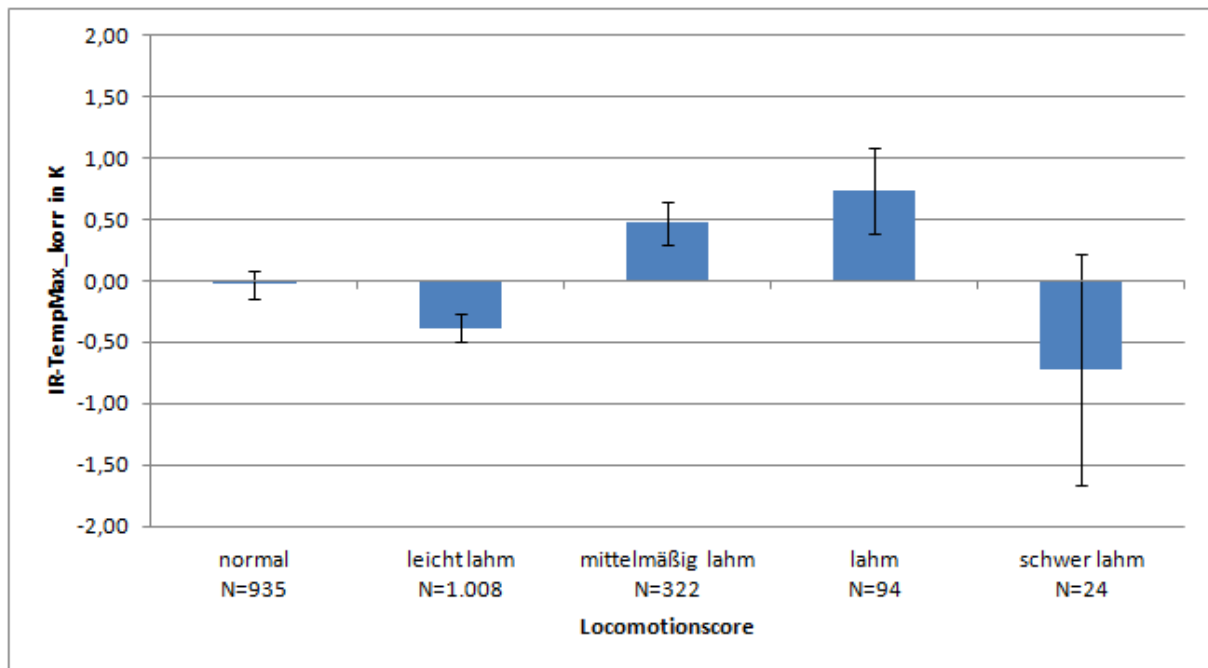


Abbildung 45: Mittelwerte IR-TempMax\_korr an den Klauen der Messreihe 6 in Abhängigkeit vom Locomotionscore (dargestellt MW ± SE)

### 3.5.2 Befundung der Klauen

#### 3.5.2.1 Material und Methoden

Die Befundung der Klauen wurde zur Einschätzung der Klauengesundheit genutzt. Dabei war diese Erfassung die einzige Referenzmethode, die nicht am Melkstand und damit nicht unmittelbar mit der Messung der Oberflächentemperatur erfolgen konnte. Für die Befundung wurden die Tiere in den Klauenbehandlungsstand getrieben und gemeinsam mit dem Klauenpflegepersonal bzw. dem Tierarzt befundet. Dabei wurden der Standarddiagnoseschlüssel der DEUTSCHEN LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT (2007) verwendet (siehe Tabelle 46). Die Befundung fand in den Messreihen 2, 4 und 6 statt. Dabei enthielt jeder vorliegende Datensatz die Tier- und Messzeitnummer sowie den klauenspezifischen Befund. Die Anzahl der auszuwertenden Daten enthält Tabelle 47.

**Tabelle 46: Diagnoseschlüssel Klauenerkrankungen**

Schlüssel	Abkürzung	Erkrankung
1	RE	Klauenrehe
1.1	WLD	Weißer Linie Defekt (Zusammenhangstrennungen)
1.2	WL	Wandläsion (Sohlenwandgeschwür)
1.3	DS	Doppelte Sohle
2	BF	Ballenhornfäule
3	DID	Klauenhornfäule
4	DD	Mortellarosche Krankheit
5	PH	Phlegmone (Schwellung des Fußes)
5.1	ZP	Zwischenzehenphlegmone (Panaritium)
5.2	SK	Schwellung des Kronsaumes
6	SG	Sohlengeschwür
6.1	STG	Steingalle (Druckstelle)
6.2	RSG	Rusterholzsches Sohlengeschwür
6.3	SSG	Sohlenspitzen Geschwür
6.4	KSG	Klauensohlengeschwür in untypischer Lokalisation
7	LI	Limax (Tylom)
8	HS	Hornspalt (Wandriss)
9	B/S	Besonderheiten / Sonstiges

Quelle: DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT (2007)

**Tabelle 47: Übersicht der Messreihen hinsichtlich Klauenbefunde**

Bezeichnung	Anzahl Daten Klauenbefunde
Messreihe 2	<i>Klaue HL:</i> 83 <i>Klaue HR:</i> 83 Summe: 166
Messreihe 4	<i>Klaue HL:</i> 136 <i>Klaue HR:</i> 136 <i>Klaue VL:</i> 136 <i>Klaue VR:</i> 136 Summe: 544
Messreihe 6	<i>Klaue HL:</i> 451 <i>Klaue HR:</i> 451 Summe: 902

Um den Zusammenhang zwischen Klauenerkrankungen und Oberflächentemperatur an den Klauen darzustellen, wurden die Mittelwerte von Klauen ohne Befund, Klauen mit mehreren Befunden sowie mit verschiedenen Einzelerkrankungen gegenübergestellt. Der Mittelwertvergleich von Oberflächentemperaturen der Klauen mit einem speziellen Klauenbefund gegen Klauen ohne Befund erfolgte dabei in Form des t-Tests. Als Signifikanzniveau wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit  $p < 0,05$  angenommen. Betrachtet wurden die Oberflächentemperaturen der Messreihen 2 und 4.

Des Weiteren wurden die Daten hinsichtlich Unterschiede zwischen verschiedenen Erkrankungen an den Klauen mit Hilfe der Prozedur Mixed des SAS-Statistikprogramms (SAS, 2008) ausgewertet. Dazu mussten die Daten der Messreihe 6 zunächst gruppiert werden. In dieser Messreihe wurden die Klauen jedes Versuchstieres mehrmals über den Versuchsverlauf befundet. Bei jeder neuen Befundung wurde basierend auf dem vorhergehenden Befund folgende Kategorisierung vorgenommen:

Note 0 → noch nie eine Erkrankung vorhanden	}	Gruppe 0
Note 1 → keine Erkrankung mehr vorhanden		
Note 2 → eine Neuerkrankung vorhanden	}	Gruppe 1
Note 3 → mindestens zwei Neuerkrankungen vorhanden		

Diese vier Kategorien wurden für die Auswertung in zwei Gruppen zusammengefasst. Damit beschrieb die Gruppe 0 den Klauenzustand 0 oder 1 („gesunde“ Klauen). Die Gruppe 1 repräsentierte die Klauen, an denen Neuerkrankungen festgestellt wurden (Kategorie 2 und 3). Als Schätzverfahren wurde die GLS-Methode basierend auf REML-Schätzern für die Varianzkomponenten angewendet. Das Modell entsprach einem Testagsmodell (5) der folgenden Gestalt:

$$y_{ijk} = \mu_i + \beta_{0j} + \beta_{1j} \cdot UT + u_{jk} + e_{ijk} \quad (\text{Formel 5})$$

$y_{ijk}$	Beobachtung an Kuh k
$\mu_i$	fester Effekt von Testtag i
$\beta_{0j}$	fester Effekt von Gruppe j (Gruppe 0 und 1)
$\beta_{1j}$	fixer Regressionskoeffizient
UT	Umgebungstemperatur
$u_{jk}$	zufälliger Effekt von Kuh k aus Gruppe j
$e_{ijk}$	zufälliger Resteffekt

Die LSMeans der beiden Gruppen (berechnet für verschiedene IR-Kenngrößen) wurden für ausgewählte Umgebungstemperaturen zwischen 13°C und 24°C miteinander verglichen. Differenzen zwischen den LSMeans mit p-values < 0,05 wurden als signifikant angesehen.



### 3.5.2.2 Ergebnisse

Die Feststellung der Klauengesundheit anhand von Klauenbefunden beschränkte sich auf die Messreihen 2, 4 und 6. Tabelle 48 zeigt dabei die absoluten und relativen Häufigkeiten der Klauenbefundung. Deutlich wird, dass Unterschiede in der Klauengesundheit zwischen den drei untersuchten Betrieben bestehen. Während in Betrieb 1 und 3 mit 80% bzw. 73% sehr viele Klauenerkrankungen festgestellt werden konnten, wiesen in Betrieb 2 nur 32% der untersuchten Klauen Erkrankungen auf. In Betrieb 1 waren die am häufigsten festgestellten Erkrankungen Mortellaro, Klauenrehe, Druckstelle und Ballenhornfäule (siehe Tabelle 49). In Betrieb 2 konnten Mortellaro, Rusterholzsches Sohlengeschwür und Druckstelle am häufigsten erfasst werden. In Betrieb 3 konnte mit Abstand am häufigsten Ballenhornfäule festgestellt werden, gefolgt von Limax, Mortellaro und Klauenhornfäule.

**Tabelle 48: Absolute und relative Häufigkeit der Ergebnisse der Befunde an den einzelnen Klauen**

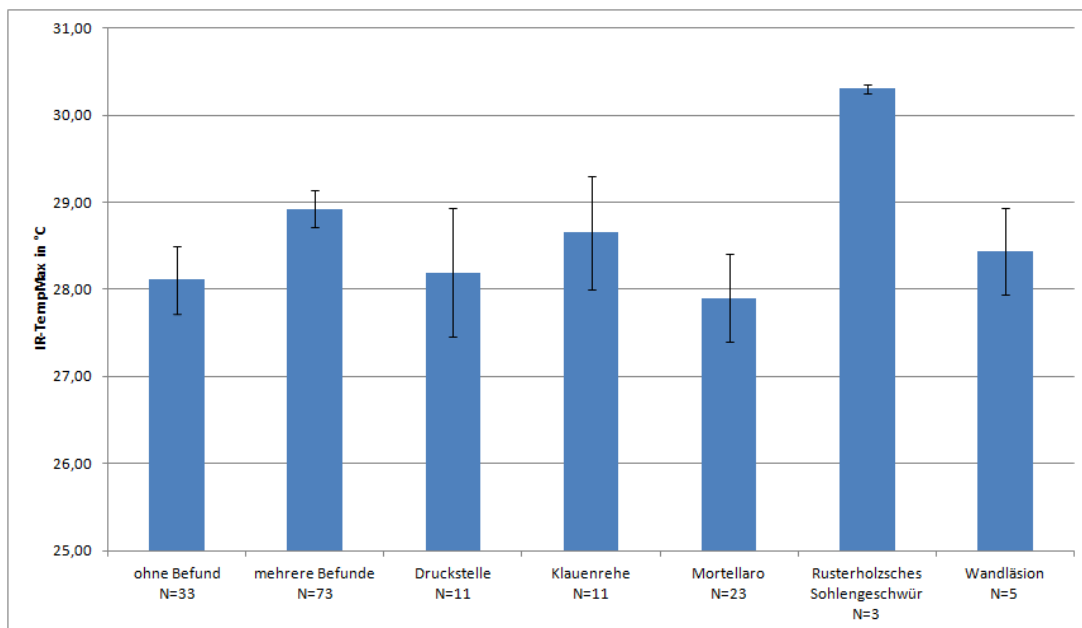
	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 3
	Messreihe 2	Messreihe 4	Messreihe 6
N	166	544	902
ohne Befund	33 (20%)	372 (68%)	241 (27%)
mit Befund	133 (80%)	172 (32%)	661 (73%)

**Tabelle 49: Absolute Häufigkeit verschiedener Erkrankungen an den einzelnen Klauen in alphabetischer Ordnung**

	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 3
	Messreihe 2	Messreihe 4	Messreihe 6
Erkrankungen gesamt	239	200	1.152
Ballenhornfäule	34	-	351
Doppelte Sohle	1	13	67
Druckstelle	37	32	77
Hornspalt	-	1	-
Klauenhornfäule	7	-	138
Klauenrehe	46	11	78
Klauensohlengeschwür in untypischer Lokalisation	-	-	13
Limax	1	2	155
Mortellaro	83	83	154
Panaritium	1	-	-
Rusterholzsches Sohlengeschwür	8	33	10
Schwellung des Kronsaumes	-	-	10
Sohlengeschwür	-	4	-
Sohlenspitzen­geschwür	-	3	3
Wandläsion	12	12	22
Weiß­e Linie Defekt	8	6	72
Sonstiges	1	-	2

Um den Zusammenhang zwischen Oberflächentemperaturen und Klauenerkrankungen darzustellen, wurden die Mittelwerte der Oberflächentemperaturen von Klauen mit verschiedenen Erkrankungen den von Klauen ohne Befund gegenübergestellt. Da in den Messreihen 2 und 4 die Aufnahme der Oberflächentemperaturen mittels IR-Thermographie auf eine Messzeit beschränkt war und so für alle Aufnahmen annähernd gleiche Umweltbedingungen vorhanden waren, war die Korrektur der Daten um die Umgebungstemperatur nicht erforderlich.

In Messreihe 2 zeigten sowohl Klauen mit mehreren Befunden als auch Klauen mit Rusterholzschem Sohlengeschwür einen deutlich höheren Mittelwert der Oberflächentemperatur als Klauen ohne Befund (siehe Tabelle A 24, S. 185 und Abbildung 46). Der t-Test bestätigte den Unterschied als signifikant bei IR-TempMW und IR-TempMax für Klauen mit diagnostiziertem Rusterholzschem Sohlengeschwür (siehe Tabelle 50).

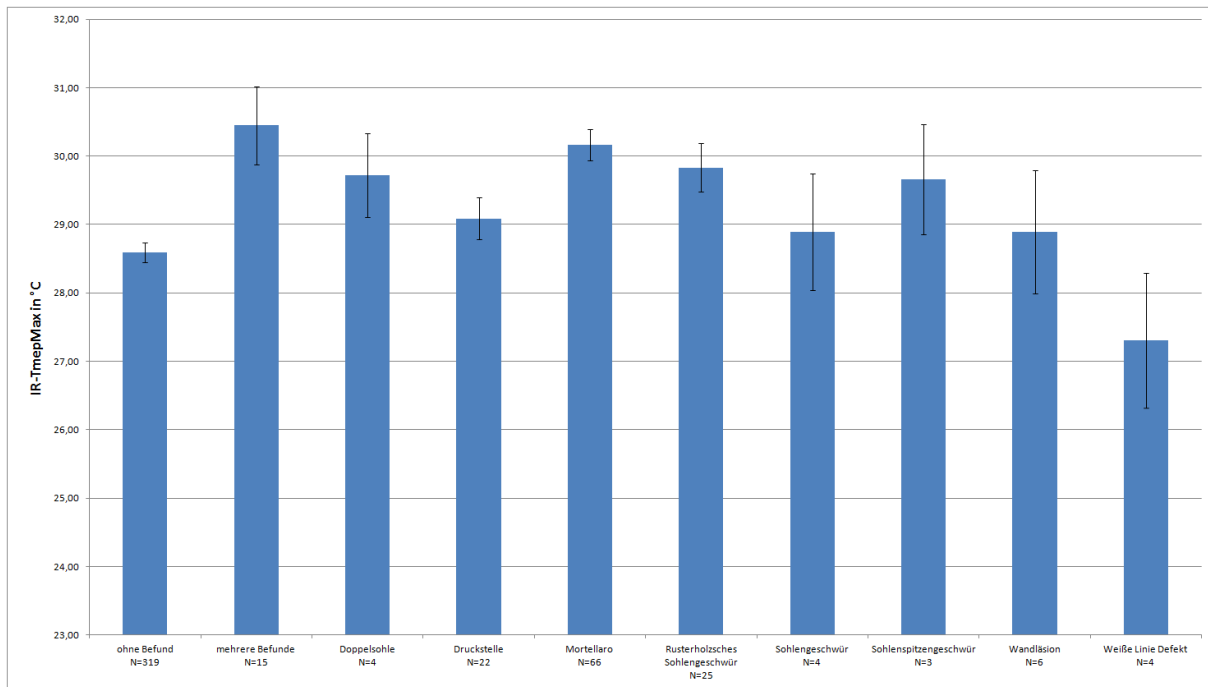


**Abbildung 46: Mittelwerte IR-TempMax an den Klauen der Messreihe 2 in Abhängigkeit vom Befund (dargestellt MW  $\pm$  SE)**

**Tabelle 50: Irrtumswahrscheinlichkeiten des t-Test der Messreihe 2 von verschiedenen Klauenbefunden gegenüber Klauen ohne Befund**

	IR-TempMW	IR-TempMax
	p (t-Test)	p (t-Test)
mehrere Befunde	0,194	0,052
Mortellaro	0,474	0,740
Druckstelle	0,865	0,918
Klauenrehe	0,736	0,485
Rusterholzsches Sohlengeschwür	0,004	0,000
Wandläsion	0,426	0,751

Ein ähnliches Bild zeigten auch die Oberflächentemperaturen der Messreihe 4. Dabei wiesen neben Klauen mit gleichzeitig mehreren festgestellten Erkrankungen und Klauen mit Rusterholzschem Sohlengeschwür auch solche mit Mortellaro einen deutlich erhöhten Mittelwert bei allen IR-Kenngrößen (siehe Tabelle A 25, S. 186186 und Abbildung 47) auf. Diese Unterschiede konnten im Mittelwertvergleich als signifikant ( $p < 0,05$ ) bestätigt werden (siehe Tabelle 51).

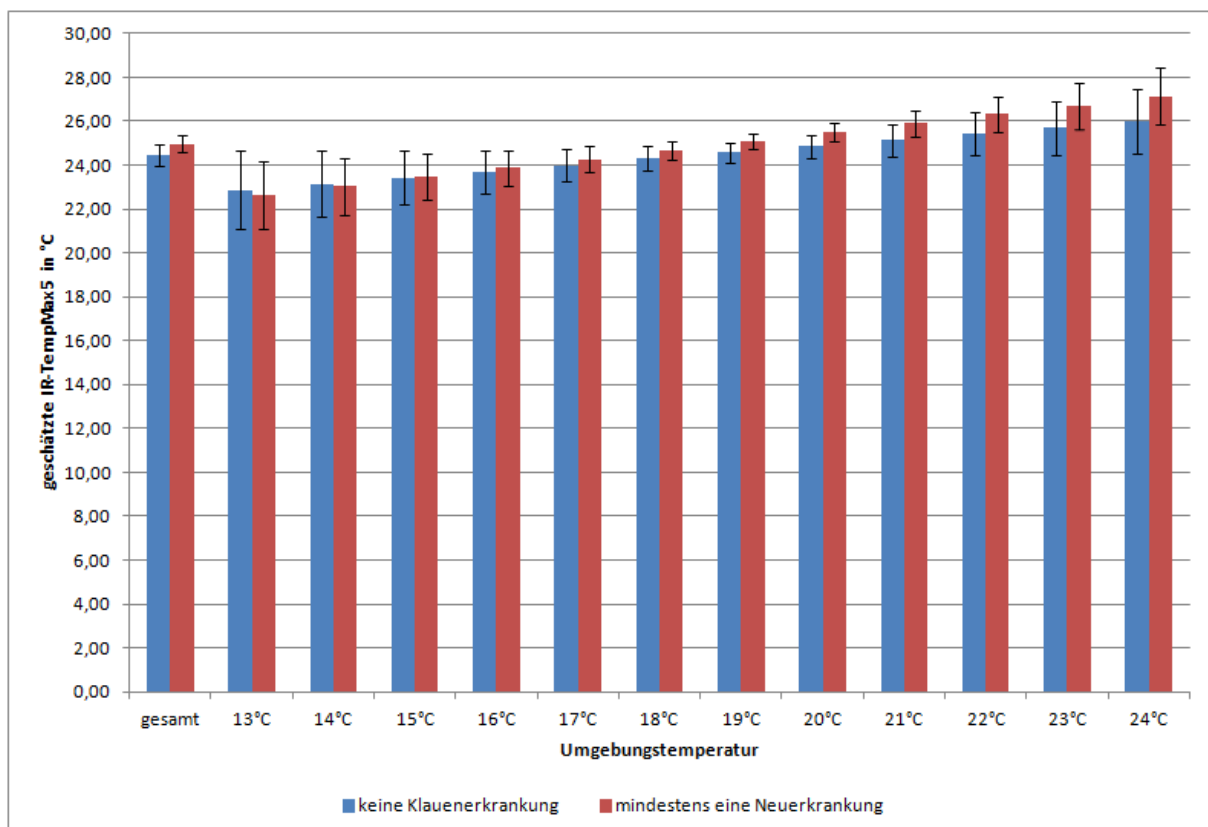


**Abbildung 47: Mittelwerte IR-TempMax an den Klauen der Messreihe 4 in Abhängigkeit vom Befund (dargestellt MW  $\pm$  SE)**

**Tabelle 51: Irrtumswahrscheinlichkeiten des t-Test der Messreihe 4 von verschiedenen Klauenbefunden gegenüber Klauen ohne Befund**

	IR-TempMW	IR-TempMax	IR-TempMax2	IR-TempMax5
	p (t-Test)	p (t-Test)	p (t-Test)	p (t-Test)
mehrere Befunde	0,001	0,006	0,003	0,002
Doppelte Sohle	0,222	0,161	0,117	0,090
Druckstelle	0,242	0,373	0,316	0,283
Mortellaro	0,000	0,000	0,000	0,000
Rusterholzsches Sohlengeschwür	0,005	0,003	0,002	0,009
Sohlengeschwür	0,729	0,816	0,698	0,638
Sohlenspitzengeschwür	0,287	0,474	0,407	0,374
Wandläsion	0,383	0,778	0,628	0,528
Weiße Linie Defekt	0,793	0,320	0,392	0,468

Der Vergleich der LSMeans für die Oberflächentemperaturen (N=321) der Gruppen 0 (keine Klauenerkrankung) und 1 (mindestens eine Neuerkrankung) wird in Abbildung 48 veranschaulicht. Tabelle A 26 (S. 187) zeigt ausgewählte LSMeans (mit Standardfehler) und deren Differenzen mit zugehörigem p-value. Es wurde festgestellt, dass ab einer Umgebungstemperatur von 16°C die Oberflächentemperaturen der Gruppe 1 höher waren als die der Gruppe 0. Eine Signifikanz ( $p\text{-value} < 0,05$ ) der Unterschiede konnte jedoch nicht nachgewiesen werden.



**Abbildung 48:** LSMeans (LSM) der gesunden und neuerkrankten Klauen anhand der Kenngröße IR-TempMax5 der Messreihe 6 nach unterschiedlichen Umgebungstemperaturen (dargestellt  $LSM \pm SE$ )

### **3.6 Gesundheitsmonitoring Allgemeinzustand (Fieber)**

#### *3.6.1 Material und Methoden*

Als Referenzparameter für den Allgemeinzustand des Tieres wurde die Körperkerntemperatur herangezogen. Diese konnte über die Messung der Rektaltemperatur bestimmt werden. Die Rektaltemperaturmessung erfolgte am Melkkarussell mit Hilfe des Thermometers „microlife VT 1831“. Bei diesem Thermometer handelte es sich nach Herstellerangaben um einen Temperaturmesser speziell zur Bestimmung der Körpertemperatur von Tieren. Der Messbereich wurde von 32,0°C bis zu 42,9°C angegeben. Dabei gab es eine Messungenauigkeit von  $\pm 0,1$  K im Temperaturbereich 34,0 bis 42,0°C. Die exakte Messung der Körperkerntemperatur bei einer Einführtiefe von vier bis fünf Zentimetern dauerte ca. zehn Sekunden. Das Messende wurde hierbei durch einen Signalton angegeben. Die Messdauer und -genauigkeit des Thermometers wurde von SANDER (2010) überprüft und bestätigt. Die Zuordnung der Rektaltemperaturen zu den einzelnen Kühen konnte durch Ablesen und Dokumentieren der Tiernummer von der Melkeinheit realisiert werden. Die erstellten Datensätze enthielten damit die Tier- und Messzeitnummer sowie die dazugehörige Rektaltemperatur. Erfasst wurden diese in den Messreihen 1, 3 und 5 mit 5.867, 6.069 und 4.663 Datensätzen.

Nach der deskriptiven statistischen Auswertung erfolgte die Darstellung des Zusammenhangs der Oberflächentemperatur an der Schenkelfläche und der Rektaltemperatur durch die Korrelation nach PEARSON und das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression. Auf der Basis dieser Daten wurden darüber hinaus die Mittelwerte der Tiere, die eine Rektaltemperatur von  $\geq 39,5^\circ\text{C}$  aufwiesen (Gruppe 1), mit Tieren, deren Rektaltemperatur  $< 39,5^\circ\text{C}$  anzeigte (Gruppe 0), mit Hilfe des t-Tests verglichen. Als Signifikanzniveau wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p < 0,05$  angenommen.

### 3.6.2 Ergebnisse

Die Daten zeigen in den Untersuchungsreihen 1 und 5 gleiche Mittelwerte und Standardabweichungen ( $38,4 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$ ). In Messreihe 3 zeigte sich ein nur geringfügig höherer Mittelwert von  $38,8 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$ . Die Anzahl der Tiere, die Fieber aufwiesen (Rektaltemperatur  $\geq 39,5^{\circ}\text{C}$ ; SCHEUNERT & TRAUTMANN, 1987; FREICK, 2009; KREHER, 2011) war in allen drei Messreihen gering (siehe Tabelle 52).

**Tabelle 52: Gemessene Rektaltemperatur**

	Betrieb 1		Betrieb 3
	Messreihe 1	Messreihe 3	Messreihe 5
N	5.867	6.071	4.663
MW in $^{\circ}\text{C}$	38,4	38,8	38,4
SD in $^{\circ}\text{C}$	0,4	0,4	0,4
Min in $^{\circ}\text{C}$	37,0	37,0	36,7
Max in $^{\circ}\text{C}$	40,8	41,8	40,9
Spannweite in K	3,8	4,8	4,2
N von Rektaltemperatur $\geq 39,5^{\circ}\text{C}$	48	247	60

Der Zusammenhang zwischen Oberflächentemperatur an der Schenkelfläche und Rektaltemperatur wurde über die Korrelation nach PEARSON sowie das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression beschrieben (siehe Tabelle 53). Die größten Korrelationskoeffizienten wurden bei den nicht um die Umgebungstemperatur korrigierten IR-Kenngrößen in Messreihe 1 festgestellt. Bei den um die Umgebungstemperatur korrigierten Größen zeigten sich die höchsten Korrelationen in Messreihe 5. Da die Korrelationskoeffizienten  $r=0,24$  nicht überschritten, wurde geschlussfolgert, dass der Zusammenhang als gering eingeschätzt werden kann.

**Tabelle 53: Zusammenhang zwischen Oberflächentemperatur an der Schenkelfläche und der Rektaltemperatur**

	Betrieb 1		Betrieb 3	Betrieb 1		Betrieb 3
	Messreihe 1	Messreihe 3	Messreihe 5	Messreihe 1	Messreihe 3	Messreihe 5
N	2.962	4.319	4.345	2.962	4.319	4.345
IR-TempMW			IR-TempMW_korr			
r	0,19	0,15	0,07	0,13	0,00	0,13
R <sup>2</sup>	0,03	0,02	0,01	0,02	0,00	0,02
IR-TempMax			IR-TempMax_korr			
r	0,24	0,18	0,13	0,18	0,04	0,19
R <sup>2</sup>	0,06	0,03	0,02	0,03	0,00	0,04
IR-TempMax2			IR-TempMax2_korr			
r	0,23	-	0,11	0,18	-	0,17
R <sup>2</sup>	0,05	-	0,01	0,03	-	0,03
IR-TempMax5			IR-TempMax5_korr			
r	0,22	0,16	0,10	0,17	0,02	0,16
R <sup>2</sup>	0,05	0,03	0,01	0,03	0,00	0,03

Die Abbildung 49, Abbildung 50 und Abbildung 51 zeigen den Zusammenhang zwischen Oberflächentemperatur an der Schenkelfläche und der Rektaltemperatur. Die lineare Regression zeigt jeweils einen leichten Anstieg der Oberflächentemperatur mit zunehmender Rektaltemperatur.

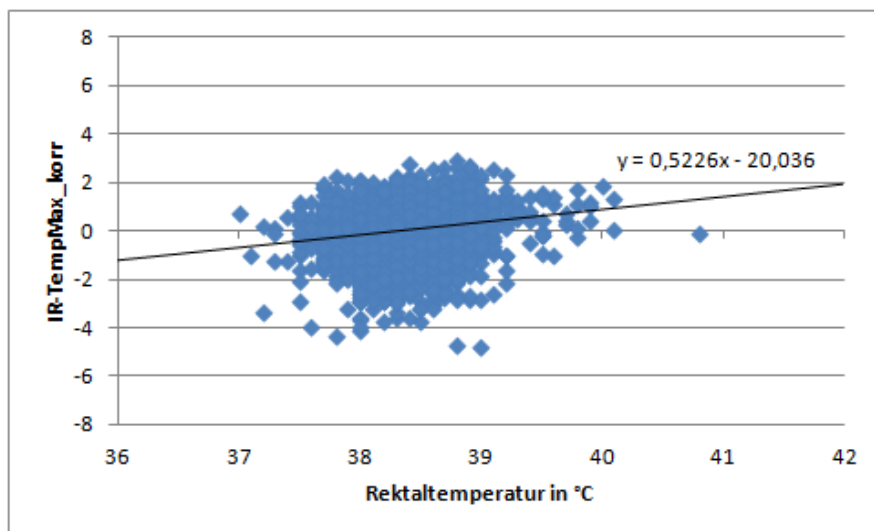


Abbildung 49: IR-TempMax\_korr an der Schenkelfläche der Messreihe 1 in Abhängigkeit von der Rektaltemperatur

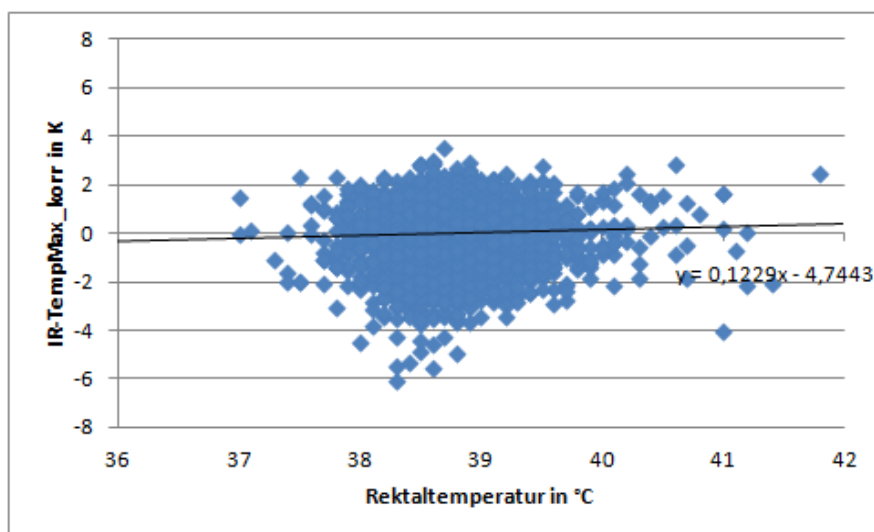


Abbildung 50: IR-TempMax\_korr an der Schenkelfläche der Messreihe 3 in Abhängigkeit von der Rektaltemperatur

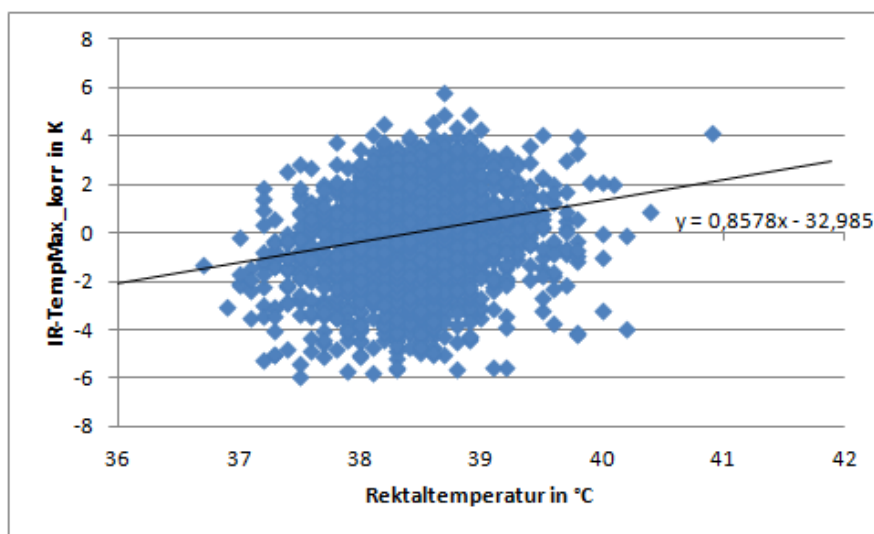


Abbildung 51: IR-TempMax\_korr an der Schenkelfläche der Messreihe 5 in Abhängigkeit von der Rektaltemperatur



Des Weiteren wurden die Mittelwerte der Oberflächentemperatur von zwei Gruppen von Rektaltemperaturen verglichen. Gruppe 0 sind Daten, die eine Rektaltemperatur  $<39,5^{\circ}\text{C}$  aufweisen und Gruppe 1 diejenigen mit einer Rektaltemperatur  $\geq 39,5^{\circ}\text{C}$ . Eine Rektaltemperatur von  $\geq 39,5^{\circ}\text{C}$  gilt bei der Kuh als Fieberzustand. Die Mittelwerte aller IR-Kenngrößen sind in Tabelle A 27 (S. 188) dargestellt. Aus ihr geht hervor, dass in Messreihe 1 die Mittelwerte aller IR-Kenngrößen bei Gruppe 1 höher sind als bei Gruppe 0. In den anderen beiden Messreihen ist dies nicht der Fall. Da sind die mittleren Oberflächentemperaturen der Gruppe 1 geringer als die der Gruppe 0. Dies veranschaulicht auch Abbildung 52. Signifikant waren die Unterschiede nur in Messreihe 1 (ausgenommen IR-TempMW\_korr) sowie in Messreihe 3 die nicht um die Umgebungstemperatur korrigierten Kenngrößen (siehe Tabelle 54).

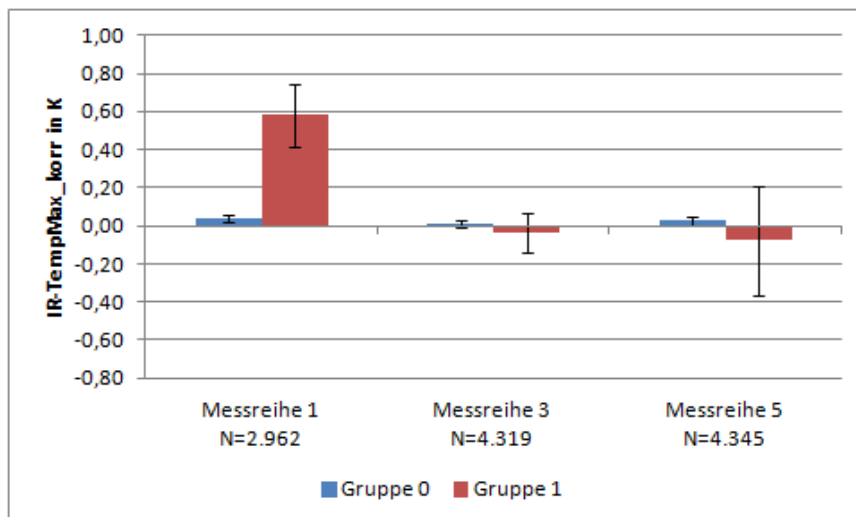


Abbildung 52: Mittelwerte der IR-Kenngröße IR-TempMax\_korr an der Schenkelfläche in Abhängigkeit von der Rektaltemperatur (dargestellt MW+SE)

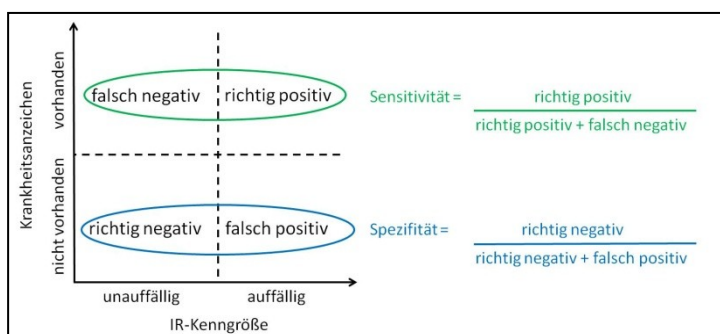
Tabelle 54: Irrtumswahrscheinlichkeiten des t-Test in Bezug auf die Oberflächentemperatur an der Schenkelfläche und die Rektaltemperatur (Gruppe 0 vs. Gruppe 1)

	Betrieb 1		Betrieb 3
	Messreihe 1	Messreihe 3	Messreihe 5
	p (t-Test)	p (t-Test)	p (t-Test)
IR-TempMW	0,001	0,011	0,847
IR-TempMW_korr	0,113	0,137	0,941
IR-TempMax	0,000	0,002	0,724
IR-TempMax_korr	0,008	0,643	0,870
IR-TempMax2	0,000	-	0,733
IR-TempMax2_korr	0,013	-	0,888
IR-TempMax5	0,000	0,017	0,737
IR-TempMax5_korr	0,021	0,179	0,897

### 3.7 Identifizierung erkrankter Tiere anhand der Oberflächentemperatur

#### 3.7.1 Material und Methoden

Ziel eines automatischen Gesundheitsmonitoringsystems basierend auf der Erfassung der Oberflächentemperatur mittels IR-Thermographie ist es, erkrankte Tiere zu identifizieren und auf einer Alarmliste abzubilden. Diese Identifikation fand in der vorliegenden Arbeit für die Erkrankungskomplexe Eutergesundheit, Klauengesundheit und Allgemeinzustand (Fieber) statt. Grundlage dafür waren verschiedene Vorschriften, sogenannte Algorithmen, die die Tiere anhand ihrer Oberflächentemperatur an der jeweils ausgewählten Körperregion in die Kategorien auffällig und unauffällig einteilten. Anhand der Referenzuntersuchungen konnten die Tiere unabhängig von der Oberflächentemperatur ebenfalls in zwei Kategorien (Krankheitsanzeichen vorhanden und nicht vorhanden) eingeteilt werden. Zur Bewertung der Leistungsfähigkeit der verschiedenen Algorithmen wurde der diagnostische Test herangezogen. Dabei waren die Validitätsmaße Sensitivität und Spezifität ausschlaggebend (siehe Abbildung 53). Die Sensitivität gibt den Anteil der Tiere an, die eine Auffälligkeit bei den IR-Kenngrößen aufwiesen und anhand der Referenzuntersuchung in die Kategorie „Krankheitsanzeichen vorhanden“ eingestuft wurden von allen Tieren, die der Kategorie „Krankheitsanzeichen vorhanden“ zugeteilt wurden (Anteil richtig positiver Tiere). Die Spezifität hingegen ist der Anteil der Tiere, die anhand der IR-Kenngrößen als unauffällig eingestuft wurden und darüber hinaus auch der Kategorie „keine Krankheitsanzeichen vorhanden“ angehören von allen Tieren, die keine Krankheitsanzeichen zeigten (Anteil richtig negativer Tiere). Ein automatisches Gesundheitsüberwachungssystem soll möglichst viele der Tiere mit Krankheitszeichen auf der Alarmliste abbilden (hohe Sensitivität) und gleichzeitig viele Tiere ohne Krankheitsanzeichen auch als unauffällig einstufen (hohe Spezifität). Da sich beide Validitätsmaße bedingen, zieht die Erhöhung der Sensitivität eine Verringerung der Spezifität nach sich.



**Abbildung 53: Validitätsmaße Sensitivität und Spezifität des diagnostischen Tests**  
Quelle: verändert nach WIEDEMANN (2004)

### 3.7.2 Ergebnisse

Die folgenden Abbildungen (Abbildung 54, Abbildung 55, Abbildung 56) zeigen die Boxplots der Oberflächentemperaturen an Eutern, Klauen und Schenkelfläche in Abhängigkeit von den Krankheitsanzeichen der jeweiligen Körperregion. Anhand der durchgeführten Mittelwertvergleiche konnten zum Teil signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Befundklassen dargestellt werden. Aus den Boxplots geht jedoch hervor, dass sich die einzelnen Gruppen in der Spannweite der Oberflächentemperaturen ähneln und sich nicht klar unterscheiden. Damit lassen sich kranke Tiere aus der Masse aller Tiere nicht eindeutig abgrenzen.

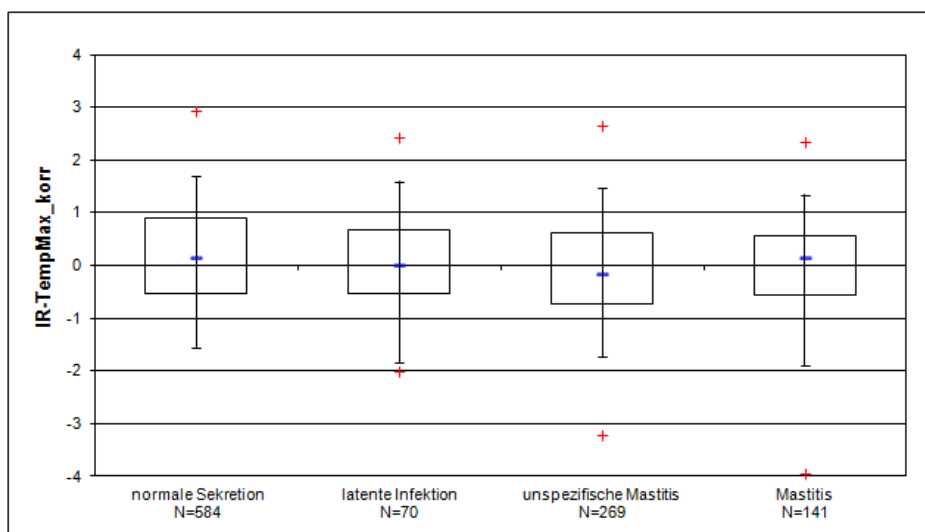


Abbildung 54: Boxplot IR-TempMax\_korr an den Eutern der Messreihe 5 in Abhängigkeit vom Ergebnis der zytobakteriologischen Untersuchung

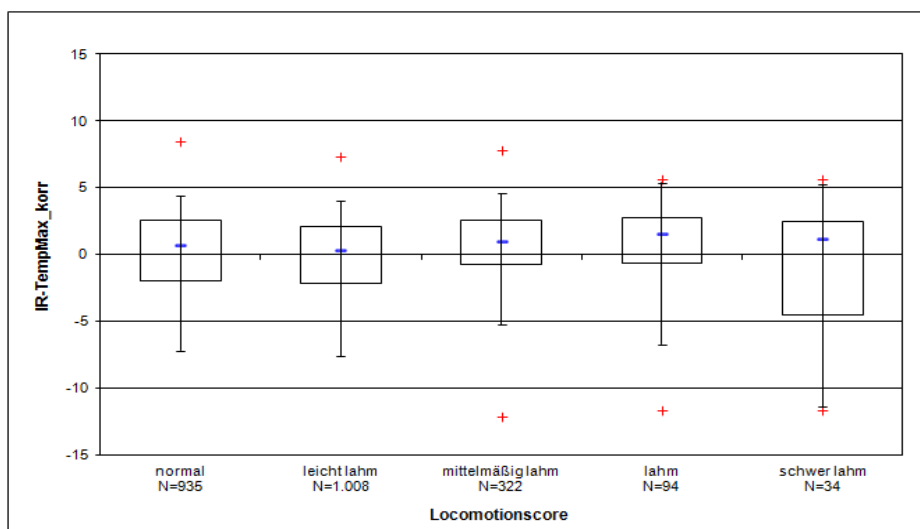


Abbildung 55: Boxplot IR-TempMax\_korr an den Klauen der Messreihe 5 in Abhängigkeit vom Locomotionscore

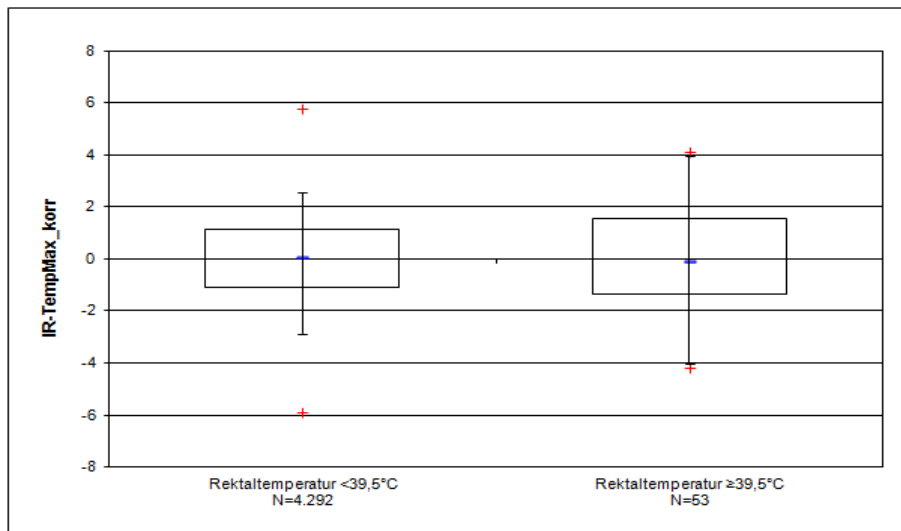


Abbildung 56: Boxplot IR-TempMax\_korr an der Schenkelfläche der Messreihe 5 in Abhängigkeit von der Rektaltemperatur

Ein Grund dafür ist der sehr tierindividuelle Verlauf der Oberflächentemperatur (siehe Abbildung 57). Aus der genannten Abbildung geht hervor, dass sich die korrigierten IR-Kenngrößen von Einzeltieren sich unterscheiden. Während z.B. die korrigierten Werte für Kuh 2308 über den gesamten Versuchsverlauf größer null sind, liegen sie für Kuh 28210 konstant unter null. Deutlich wird damit ein tierindividuelles Temperaturniveau. Um erkrankte Tiere anhand der gemessenen Oberflächentemperatur identifizieren zu können, ist also die Betrachtung des Verlaufs für das Einzeltier notwendig. Daher wurden zur Identifikation von Tieren mit Krankheitsanzeichen Algorithmen ausgewählt, die den Verlauf der Oberflächentemperatur über verschiedene Mehrtagesmittelwerte abbilden und so die Grundlage für eine tierindividuelle Identifikation bilden.

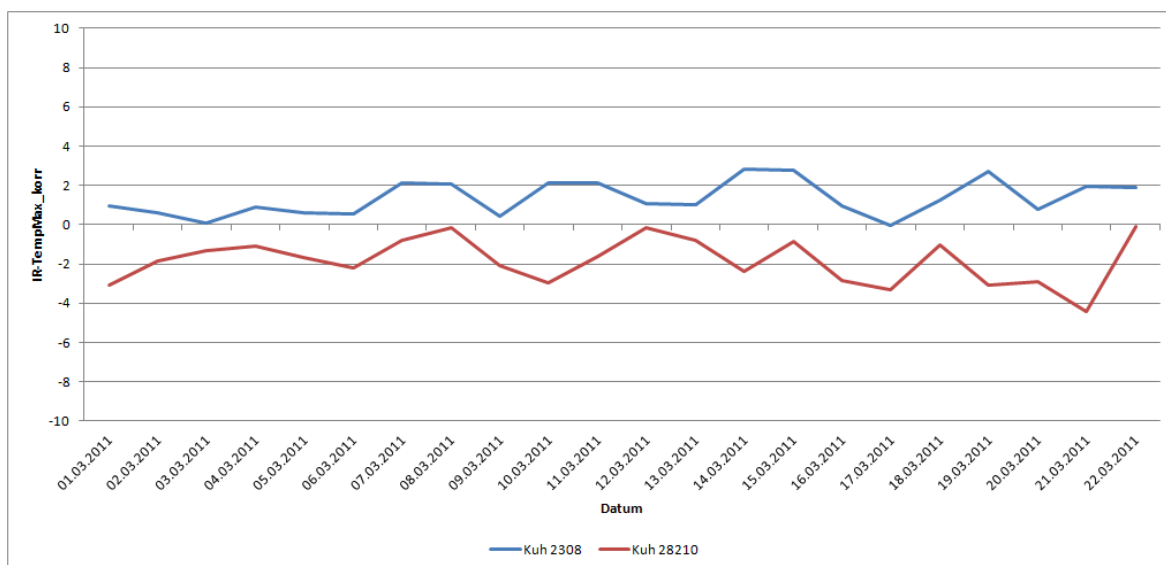


Abbildung 57: Verlauf IR-TempMax\_korr an der Schenkelfläche von zwei Kühen über den Versuchsverlauf

### 3.7.2.1 Identifikation von Eutergesundheitsstörungen

Für die Aufstellung verschiedener Algorithmen wurden neben den tagesaktuellen IR-Kenngrößen ( $IR-Temp_{heute}$ ) der Einzeltiere die Verlaufsdaten betrachtet. Dazu wurden die IR-Kenngrößen für jedes Einzeltier zusammengefasst und Mehrtagesmittelwerte (z.B. 3-Tages-Mittelwert  $\rightarrow IR-Temp_{MW3}$ ) sowie deren Standardabweichung gebildet. Bezugspunkt war dabei ein bestimmtes Datum. Gemittelt wurden die Oberflächentemperaturen der vorhergehenden Tage. So wurden z.B. für ein 3-Tages-Mittelwert für den 20.05.2010 die Oberflächentemperaturen vom 17., 18. und 19.05.2010 gemittelt und in Bezug zur Oberflächentemperatur am 20.05.2010 gesetzt.

In Bezug auf den Erkrankungskomplex Eutergesundheit wurden die Daten der Messreihe 5 ausgewertet. Anhand der Ergebnisse der zytobakteriologischen Untersuchungen wurden die Euterviertel mit normaler Sekretion in die Kategorie „Krankheitsanzeichen nicht vorhanden“ eingeordnet und anhand dieser die Spezifität berechnet. Euterviertel mit latenter Infektion, unspezifischer Mastitis und Mastitis wurden zur Kategorie „Krankheitsanzeichen vorhanden“ geordnet und damit für jede Mastitisart die Sensitivität berechnet. Als auffällig anhand der Oberflächentemperatur galten Euterviertel, deren

Algorithmus I<sub>Euter</sub>:  $IR-Temp_{heute} > IR-Temp_{MW \text{ alle Tiere}} + SD \text{ } IR-Temp_{MW \text{ alle Tiere}}$

Algorithmus II<sub>Euter</sub>:  $IR-Temp_{heute} > IR-Temp_{MW3} + SD \text{ } IR-Temp_{MW3}$  ODER  
 $IR-Temp_{heute} < IR-Temp_{MW3} - SD \text{ } IR-Temp_{MW3}$

Algorithmus III<sub>Euter</sub>:  $IR-Temp_{heute} > IR-Temp_{MW5} + SD \text{ } IR-Temp_{MW5}$  ODER  
 $IR-Temp_{heute} < IR-Temp_{MW5} - SD \text{ } IR-Temp_{MW5}$

Algorithmus IV<sub>Euter</sub>:  $IR-Temp_{heute} > IR-Temp_{MW14} + SD \text{ } IR-Temp_{MW14}$  ODER  
 $IR-Temp_{heute} < IR-Temp_{MW14} - SD \text{ } IR-Temp_{MW14}$

Des Weiteren wurde der Referenzparameter viertelspezifische elektrische Leitfähigkeit (LF) mit in die Bildung von Algorithmen einbezogen. Dabei wurden auch für diesen Parameter tierindividuelle Mehrtagesmittelwerte gebildet. Somit ergab sich der neue Algorithmus:

Algorithmus V<sub>Euter</sub>:  $IR-Temp_{heute} > IR-Temp_{MW3} + SD \text{ } IR-Temp_{MW3}$  ODER  
 $IR-Temp_{heute} < IR-Temp_{MW3} - SD \text{ } IR-Temp_{MW3}$  ODER  
 $LF_{heute} > LF_{MW3} + SD \text{ } LF_{MW3}$

Mit Hilfe der Algorithmen wurden auf der Grundlage der Oberflächentemperaturen Alarmlisten erstellt, die auffällige Tiere abbildeten. Diese wurden dann anhand der Referenzuntersuchung der zytobakteriologischen Untersuchung von Viertelgemelksproben auf das Vorhandensein von Krankheitsanzeichen überprüft. Damit konnten Sensitivitäten für

das Abbilden von Tieren mit den verschiedenen Mastitisarten (latente Infektion, unspezifische Mastitis, Mastitis) berechnet werden. Grundlage für die Berechnung der Spezifität waren die Tiere, die eine normale Sekretion aufwiesen.

Tabelle 55 zeigt die Ergebnisse des diagnostischen Tests anhand der fünf ausgewählten Algorithmen. Aus der Tabelle geht hervor, dass die Sensitivitäten für alle drei Mastitiskategorien am geringsten bei Algorithmus  $I_{\text{Euter}}$  waren, bei dem die Oberflächentemperaturen aller Tiere als Vergleichsgrundlage dienten. Bei der Betrachtung des Verlaufs der Oberflächentemperatur für jedes Einzeltier (Algorithmus II-IV $_{\text{Euter}}$ ) konnten die höchsten Sensitivitäten bei der Betrachtung des 3-Tages-Mittelwertes (Algorithmus II $_{\text{Euter}}$ ) festgestellt werden. Auf ähnlich hohem Niveau liegen auch die Sensitivitäten bei Algorithmus  $V_{\text{Euter}}$ , der neben den Abweichungen der Oberflächentemperatur auch den Anstieg der viertelspezifischen elektrischen Leitfähigkeit im Vorgemelk berücksichtigt. Bei der Betrachtung der IR-Kenngrößen wird deutlich, dass die höchsten Sensitivitäten bei den IR-Kenngrößen erreicht werden, die sich auf die Maximaltemperatur beziehen (IR-TempMax, IR-TempMax2, IR-TempMax5).

Da sich die Validitätsmaße Sensitivität und Spezifität gegenseitig bedingen, zeigen die Algorithmen mit den höchsten Sensitivitäten (Algorithmus II $_{\text{Euter}}$ , Algorithmus  $V_{\text{Euter}}$ ) die geringsten Spezifitäten. Die höchste Spezifität von über 80% wird demzufolge mit dem Algorithmus  $I_{\text{Euter}}$  erreicht.

**Tabelle 55: Diagnostischer Test an den Eutern**

	Sensitivität latente Infektion	Sensitivität unspezifische Mastitis	Sensitivität Mastitis	Spezifität
Algorithmus I <sub>Euter</sub> : $IR-Temp_{heute} > IR-Temp_{MW \text{ alle Tiere}} + SD \ IR-Temp_{MW \text{ alle Tiere}}$				
IR-TempMW_korr	8,1%	9,8%	12,0%	83,6%
IR-TempMax_korr	16,1%	12,2%	11,3%	85,5%
IR-TempMax2_korr	16,1%	11,8%	10,5%	84,2%
IR-TempMax5_korr	12,9%	10,6%	9,8%	83,6%
Algorithmus II <sub>Euter</sub> : $IR-Temp_{heute} > IR-Temp_{MW3} + SD \ IR-Temp_{MW3}$ ODER $IR-Temp_{heute} < IR-Temp_{MW3} - SD \ IR-Temp_{MW3}$				
IR-TempMW_korr	51,6%	44,7%	49,6%	52,5%
IR-TempMax_korr	51,6%	50,8%	46,6%	48,9%
IR-TempMax2_korr	56,5%	51,2%	48,1%	48,7%
IR-TempMax5_korr	53,2%	51,2%	48,9%	48,1%
Algorithmus III <sub>Euter</sub> : $IR-Temp_{heute} > IR-Temp_{MW5} + SD \ IR-Temp_{MW5}$ ODER $IR-Temp_{heute} < IR-Temp_{MW5} - SD \ IR-Temp_{MW5}$				
IR-TempMW_korr	45,2%	45,2%	50,0%	56,2%
IR-TempMax_korr	49,2%	44,7%	45,2%	54,6%
IR-TempMax2_korr	50,8%	45,2%	46,0%	54,0%
IR-TempMax5_korr	54,2%	45,6%	48,4%	53,6%
Algorithmus IV <sub>Euter</sub> : $IR-Temp_{heute} > IR-Temp_{MW14} + SD \ IR-Temp_{MW14}$ ODER $IR-Temp_{heute} < IR-Temp_{MW14} - SD \ IR-Temp_{MW14}$				
IR-TempMW_korr	37,0%	36,2%	39,1%	67,0%
IR-TempMax_korr	51,9%	51,1%	46,9%	55,0%
IR-TempMax2_korr	40,7%	40,4%	32,8%	62,8%
IR-TempMax5_korr	40,7%	41,5%	34,4%	63,4%
Algorithmus V <sub>Euter</sub> : $IR-Temp_{heute} > IR-Temp_{MW3} + SD \ IR-Temp_{MW3}$ ODER $IR-Temp_{heute} < IR-Temp_{MW3} - SD \ IR-Temp_{MW3}$ ODER $LF_{heute} > LF_{MW3} + SD \ LF_{MW3}$				
IR-TempMW_korr	52,9%	57,2%	57,4%	45,9%
IR-TempMax_korr	51,0%	60,0%	54,8%	40,8%
IR-TempMax2_korr	56,9%	59,5%	56,5%	41,2%
IR-TempMax5_korr	52,9%	60,5%	56,5%	40,8%

### 3.7.2.2 Identifikation von Klauenerkrankungen

Für die Identifizierung klauenkranker Tiere wurden die Daten der Messreihe 6 betrachtet. Grundlage waren die für das Einzeltier mehrmalig durchgeführten Klauenbefundungen. Für die Berechnung der Spezifität konnten die Klauen der Tiere, die noch nie eine Erkrankung bzw. keine Erkrankung mehr aufwiesen, in die Kategorie „Krankheitsanzeichen nicht vorhanden“ eingeordnet werden. Zur Berechnung der Sensitivität wurden Klauen herangezogen, die mit einer Neuerkrankung oder mindestens zwei Neuerkrankungen bewertet wurden und so der Kategorie „Krankheitsanzeichen vorhanden“ angehörten. Als in der Oberflächentemperatur auffällig galten Klauen:

Algorithmus I<sub>Klauen</sub>:  $IR-Temp_{heute} > IR-Temp_{MW \text{ alle Tiere}} + SD \text{ } IR-Temp_{MW \text{ alle Tiere}}$

Algorithmus II<sub>Klauen</sub>: Differenz zwischen Klauen eines Tieres  $> 2K$

Algorithmus III<sub>Klauen</sub>:  $IR-Temp_{heute} > IR-Temp_{MW10} + SD \text{ } IR-Temp_{MW10}$

Algorithmus IV<sub>Klauen</sub>:  $IR-Temp_{heute} > IR-Temp_{MW10} + 0,5 * SD \text{ } IR-Temp_{MW10}$

Algorithmus V<sub>Klauen</sub>:  $IR-Temp_{heute} > IR-Temp_{MW21}$

Bei der Identifikation von Tieren mit Klauengesundheitsproblemen wurden diese anhand verschiedener die Oberflächentemperatur beschreibender Algorithmen auf einer Alarmliste abgebildet. Für die Berechnung der Sensitivität wurden die Daten von Tieren genutzt, die Krankheitsanzeichen an den Klauen (mindestens eine Neuerkrankung vorhanden) aufwiesen. Für die Berechnung der Spezifität wurden die Tiere, die noch nie eine Erkrankung oder keine Erkrankung mehr aufzeigten, herangezogen. Algorithmus I<sub>Klauen</sub>, der sich auf die Daten aller Tiere bezieht und diejenigen auf der Alarmliste abbildet, die den Mittelwert aller plus der Standardabweichung übersteigen, zeigt im Vergleich zu den Algorithmen II<sub>Klauen</sub>, IV<sub>Klauen</sub> und V<sub>Klauen</sub> eine geringere Sensitivität (siehe Tabelle 56). Die geringste Sensitivität zeigt der Algorithmus III<sub>Klauen</sub>, der neben dem 10-Tagesmittelwert auch die Standardabweichung berücksichtigt. Die höchste Sensitivität liefert Algorithmus V<sub>Klauen</sub>, der sich tierindividuell auf einen recht langen Zeitraum von 21 Tagen bezieht. Bei den ersten vier Algorithmen ist die IR-Kenngröße mit den höchsten Sensitivitäten IR-TempMW.

Die höchste Spezifität konnte für den Algorithmus mit der geringsten Sensitivität (Algorithmus III<sub>Klauen</sub>) berechnet werden. Der Algorithmus V<sub>Klauen</sub> zeigt eine geringere Spezifität, die aber mit  $>60\%$  immer noch vergleichsweise hoch ist.



**Tabelle 56: Diagnostischer Test an den Klauen**

	Sensitivität	Spezifität
Algorithmus I <sub>Klauen</sub> : $IR-Temp_{heute} > IR-Temp_{MW \text{ alle Tiere}} + SD \text{ } IR-Temp_{MW \text{ alle Tiere}}$		
IR-TempMW_korr	17,3%	75,3%
IR-TempMax_korr	11,8%	79,2%
IR-TempMax2_korr	11,4%	79,2%
IR-TempMax5_korr	11,4%	77,9%
Algorithmus II <sub>Klauen</sub> : Differenz zwischen Klauen eines Tieres $> 2K$		
IR-TempMW_korr	24,7%	78,9%
IR-TempMax_korr	21,9%	81,6%
IR-TempMax2_korr	21,5%	78,9%
IR-TempMax5_korr	21,5%	78,9%
Algorithmus III <sub>Klauen</sub> : $IR-Temp_{heute} > IR-Temp_{MW10} + SD \text{ } IR-Temp_{MW10}$		
IR-TempMW_korr	10,9%	90,0%
IR-TempMax_korr	7,6%	95,0%
IR-TempMax2_korr	8,7%	95,0%
IR-TempMax5_korr	8,7%	92,5%
Algorithmus IV <sub>Klauen</sub> : $IR-Temp_{heute} > IR-Temp_{MW10} + 0,5 * SD \text{ } IR-Temp_{MW10}$		
IR-TempMW_korr	26,6%	72,5%
IR-TempMax_korr	23,9%	77,5%
IR-TempMax2_korr	23,9%	77,5%
IR-TempMax5_korr	23,4%	75,0%
Algorithmus V <sub>Klauen</sub> : $IR-Temp_{heute} > IR-Temp_{MW21}$		
IR-TempMW_korr	46,6%	77,8%
IR-TempMax_korr	46,6%	66,7%
IR-TempMax2_korr	49,3%	66,7%
IR-TempMax5_korr	47,9%	66,7%

### 3.7.2.3 Identifikation von Problemen im Allgemeinzustand (Fieber)

Für die Identifizierung der Tiere, die Fieber aufwiesen wurden die gemessenen Rektaltemperaturen der Messreihe 5 ausgewertet. In die Kategorie „Krankheitsanzeichen nicht vorhanden“ eingeordnet wurden Tiere mit Rektaltemperaturen  $<39,5^{\circ}\text{C}$ . Anhand dieser Daten wurden die Spezifitäten berechnet. Als „Krankheitsanzeichen vorhanden“ gewertet wurden Tiere mit Rektaltemperaturen  $\geq 39,5^{\circ}\text{C}$ , da solche Körpertemperaturen bei Milchkühen als Fieber gelten. Damit bildeten sie die Basis zur Berechnung der Sensitivität. Als auffällige Oberflächentemperaturen an der Schenkelfläche gewertet wurden:

Algorithmus I<sub>Fieber</sub>:  $\text{IR-Temp}_{\text{heute}} > \text{IR-Temp}_{\text{MW alle Tiere}} + \text{SD IR-Temp}_{\text{MW alle Tiere}}$

Algorithmus II<sub>Fieber</sub>:  $\text{IR-Temp}_{\text{heute}} > \text{IR-Temp}_{\text{MW3}} + \text{SD IR-Temp}_{\text{MW3}}$  ODER  
 $\text{IR-Temp}_{\text{heute}} < \text{IR-Temp}_{\text{MW3}} - \text{SD IR-Temp}_{\text{MW3}}$

Algorithmus III<sub>Fieber</sub>:  $\text{IR-Temp}_{\text{heute}} > \text{IR-Temp}_{\text{MW5}} + \text{SD IR-Temp}_{\text{MW5}}$  ODER  
 $\text{IR-Temp}_{\text{heute}} < \text{IR-Temp}_{\text{MW5}} - \text{SD IR-Temp}_{\text{MW5}}$

Bei der Betrachtung des Allgemeinzustandes wurden die Tiere mit einer Rektaltemperatur  $\geq 39,5^{\circ}\text{C}$ , als möglichst zu identifizieren ausgemacht, da bei ihnen davon ausgegangen werden muss, dass sie Fieber haben. Anhand der Oberflächentemperatur wurden letztlich drei Algorithmen dem diagnostischen Test unterzogen. Für die Berechnung der Sensitivitäten wurden die Tiere mit Fieber herangezogen. Die Spezifität wurde auf der Grundlage der Tiere mit normaler Körpertemperatur (Rektaltemperatur  $<39,5^{\circ}\text{C}$ ) berechnet. Bei der Betrachtung der Abweichung vom Mittelwert plus Standardabweichung aller Tiere (Algorithmus I<sub>Fieber</sub>) wurde gegenüber den zwei weiteren, auf den tierindividuellen Verlauf bezogenen Algorithmen, eine geringere Sensitivität festgestellt (siehe Tabelle 57). Dabei zeigen die beiden tierindividuellen Algorithmen (Algorithmus II<sub>Fieber</sub> und III<sub>Fieber</sub>) ähnlich hohe Sensitivitäten. Die höchsten Sensitivitäten aller Algorithmen konnten bei IR-Kenngröße IR-TempMax ermittelt werden.

Die höchste Spezifität zeigt erneut der Algorithmus mit der geringsten Sensitivität (Algorithmus I<sub>Fieber</sub>). Werden nur die tierindividuellen Algorithmen betrachtet, zeigt sich die höchste Spezifität bei Algorithmus III<sub>Fieber</sub>, der auf dem Mittelwert der vorangegangenen fünf Tage beruht.

**Tabelle 57: Diagnostischer Test an der Schenkelfläche (Fieber)**

	Sensitivität	Spezifität
Algorithmus I <sub>Fieber</sub> : $\text{IR-Temp}_{\text{heute}} > \text{IR-Temp}_{\text{MW alle Tiere}} + \text{SD IR-Temp}_{\text{MW alle Tiere}}$		
IR-TempMW_korr	20,75%	85,41%
IR-TempMax_korr	34,91%	84,35%
IR-TempMax2_korr	33,02%	84,16%
IR-TempMax5_korr	30,19%	84,20%
Algorithmus II <sub>Fieber</sub> : $\text{IR-Temp}_{\text{heute}} > \text{IR-Temp}_{\text{MW3}} + \text{SD IR-Temp}_{\text{MW3}}$ ODER $\text{IR-Temp}_{\text{heute}} < \text{IR-Temp}_{\text{MW3}} - \text{SD IR-Temp}_{\text{MW3}}$		
IR-TempMW_korr	48,11%	51,02%
IR-TempMax_korr	50,00%	51,53%
IR-TempMax2_korr	46,23%	51,61%
IR-TempMax5_korr	43,40%	51,21%
Algorithmus III <sub>Fieber</sub> : $\text{IR-Temp}_{\text{heute}} > \text{IR-Temp}_{\text{MW5}} + \text{SD IR-Temp}_{\text{MW5}}$ ODER $\text{IR-Temp}_{\text{heute}} < \text{IR-Temp}_{\text{MW5}} - \text{SD IR-Temp}_{\text{MW5}}$		
IR-TempMW_korr	42,22%	59,16%
IR-TempMax_korr	48,89%	58,56%
IR-TempMax2_korr	46,67%	58,81%
IR-TempMax5_korr	46,67%	58,66%

## 4 Diskussion

### 4.1 Oberflächentemperatur an verschiedenen Körperregionen

Die Messung der Oberflächentemperatur erfolgte am Melkkarussell bzw. unmittelbar nach der Melkung am Fischgrätenmelkstand. Damit ist davon auszugehen, dass die Tiere sich in Ruhe befanden (Stehen auf dem Melkstand) und sich an die klimatischen Bedingungen im Melkstand durch das Warten im Vorwartehof bzw. dann mit dem Stehen auf dem Melkstand ausreichend anpassen konnten, bevor die Oberflächentemperatur mittels IR-Thermographie gemessen wurde. Zudem waren die Melkzeuge von über 90% der Tiere bei der Messung auf dem Melkkarussell bereits abgenommen, so dass auch durch den Melkvorgang keine Beeinflussung der Euteroberflächentemperatur zu erwarten war. All diese Faktoren nennen sowohl SCHAEFER ET AL. (2004) als auch COLAK ET AL. (2008) als mögliche Einflüsse auf die Messung der Oberflächentemperatur. Sie konnten durch den Versuchsaufbau minimiert werden.

#### *Euter*

Die mittleren Oberflächentemperaturen an den Eutervierteln waren in den Messreihen 1 (Betrieb 1; Melkkarussell Typ: Side-by-Side; 160 Tiere) und 3 (Betrieb 1; Melkkarussell Typ: Side-by-Side; 249 Tiere) annähernd gleich. In Messreihe 5 (Betrieb 3; Melkkarussell Typ: Side-by-Side; 359 Tiere) jedoch zeigten sich deutlich niedrigere Werte. Da die Umgebungstemperatur in diesen Messreihen annähernd gleich war (17,2°C; 17,8°C; 17,0°C), kann der Unterschied der mittleren Oberflächentemperatur von etwa 2 K nicht mit der Beeinflussung durch unterschiedliche Umgebungstemperaturen erklärt werden. Weiterhin gehen von den einzeltierspezifischen Faktoren Alter, Laktationsstadium und Milchleistung mögliche Beeinflussungen aus. Da sich sowohl das Laktationsstadium als auch die Milchleistung in Messreihe 1 und 5 nicht unterschieden (155 bzw. 123 Laktationstage; 30,7 bzw. 31,5 kg Milch pro Kuh und Tag) kann eine Beeinflussung durch diese Faktoren ebenfalls ausgeschlossen werden. Unterschiede bestanden im Alter der Tiere. So befanden sich die Milchkühe der ersten Messreihe im Mittel bei 2,4 Laktationen, in Messreihe 5 bei 3,5 Laktationen. Doch sollten die unterschiedlichen Oberflächentemperaturen an den Eutern auf diesen Faktor zurückzuführen sein, müssten sie sich auch zwischen Messreihe 1 und 3 unterscheiden, da die Tiere hier ebenfalls Altersunterschiede aufwiesen (2,4 vs. 1,7 Laktationen). Somit bleibt als ein möglicher Ansatz zur Erklärung der unterschiedlichen Oberflächentemperaturen der Einfluss des Betriebes. Sowohl die Messreihe 1 als auch

Messreihe 3 wurden in Betrieb 1 durchgeführt. Die Oberflächentemperaturen der Messreihe 5 hingegen wurden in Betrieb 3 ermittelt. Damit liegt die Vermutung nahe, dass es nicht nur tierindividuelle Oberflächentemperaturen gibt, sondern diese zusätzlich von betrieblichen Einflüssen abhängig sind.

Als Flächen für die Körperregion Euter wurden die in der Literatur von GLAS (2008) genannte Fläche genutzt. So wurde die Umrandung der Euter möglichst genau vorgenommen und der Euter-Schenkel-Spalt, der eventuell die Ergebnisse verfälschen könnte, außen vor gelassen (GLAS, 2008). Der Mittelwert für die Maximaltemperatur (IR-TempMax) an den Eutern lag bei 34,3°C; 34,4°C und 32,3°C. Diese Werte sind deutlich geringer als die von AHNERT & RICHTER (2007) ermittelten mittleren 39,5°C der maximalen Oberflächentemperatur am Euter. Der Unterschied zwischen den Ergebnissen der hier vorliegenden Untersuchung und denen von AHNERT & RICHTER (2007) könnte auf die Einbeziehung des Euter-Schenkel-Spalt zurückzuführen sein.

### *Schenkelfläche*

Die Schenkelfläche wurde ausgewählt, da davon ausgegangen werden kann, dass diese Fläche unbeeinflusst von Entzündungsprozessen im Euter und an den Klauen ist, aber dennoch die Veränderung der Körpertemperatur bei auftretendem Fieber widerspiegelt. Bei den mittleren Oberflächentemperaturen dieser Hautfläche konnte wie auch schon bei den Eutern festgestellt werden, dass die Werte aus Messreihe 1 (Betrieb 1; Melkkarussell Typ: Side-by-Side; 160 Tiere) und 3 (Betrieb 1; Melkkarussell Typ: Side-by-Side; 249 Tiere) gleich sind aber in Messreihe 5 (Betrieb 3; Melkkarussell Typ: Side-by-Side; 359 Tiere) deutlich geringer. Dabei sind die Unterschiede mit 3 bis 4 K je nach IR-Kenngröße noch deutlicher als bei den Eutern. Als mögliche Erklärung für die verschiedenen Oberflächentemperaturen können auch hier die betrieblichen Einflüsse gelten.

Ein Vergleich der mittels IR-Thermographie erfassten Oberflächentemperaturen an der Schenkelfläche mit den Angaben der internationalen wissenschaftlichen Literatur ist nicht möglich, da diese Fläche bisher noch nicht betrachtet worden ist. Betrachtet wurde lediglich die Hauttemperatur des vorderen Oberschenkels (BEAKLEY & FINDLAY, 1955 a, b; WHITTOW, 1962). In den genannten Untersuchungen wurde bei 20°C Umgebungstemperatur am Oberschenkel des Vorderbeins eine Hauttemperatur von 33,1°C. Die mittlere Oberflächentemperatur (IR-TempMW) an der Schenkelfläche des Hinterbeins betrug durchschnittlich bei Umgebungstemperaturen von 17 bis 18°C 30,1°C; 29,8°C und 25,2°C.

Damit liegen die Ergebnisse der Messreihen 1 und 3 in etwa dem Bereich, den auch BEAKLEY & FINDLAY (1955 a, b) und WHITTOW (1962) angeben.

### *Klauen*

Bei den Klauen zeigten sich in allen Messreihen unterschiedliche Oberflächentemperaturen bei gleichen Standardabweichungen. Auffallend war, dass die Unterschiede der Mittelwerte zwischen Messreihe 1 (Betrieb 1; Melkkarussell Typ: Side-by-Side; 160 Tiere), 2 (Betrieb 1; Melkkarussell Typ: Side-by-Side; 84 Tiere) und 4 (Betrieb 2; Fischgrätenmelkstand; 138 Tiere) deutlich geringer waren als im Vergleich zu Messreihe 6 (Betrieb 3; Melkkarussell Typ: Side-by-Side; 176 Tiere). Damit konnten wie bereits bei den Oberflächentemperaturen der Euter und der Schenkelfläche die geringsten Werte in Betrieb 3 festgestellt werden. Damit erscheinen die Tiere dieses Betriebes bei allen betrachteten Körperregionen in den Thermogrammen kühler als die Tiere in den anderen Betrieben. Der Grund für dieses Phänomen kann mit der Versuchsanstellung dieser Arbeit nicht geklärt werden.

Die ermittelte maximale Oberflächentemperatur (IR-TempMax) betrug 30,8°C; 28,6°C; 29,0°C und 25,7°C. Verglichen mit der von AHNERT & RICHTER (2007) ermittelten maximalen Oberflächentemperatur von 35,4°C sind die Werte geringer. Da die gleiche Fläche (Hinteransicht der Klauen, Fläche unterhalb der Afterklauen) betrachtet wurden, liegen mögliche Ursachen für die unterschiedlichen Ergebnisse in der Anzahl der Messungen, der untersuchten Tiere (Anzahl, Alter, Laktationsstadium, Milchleistung, Gesundheitsstatus), in der eingesetzten Messtechnik sowie den Korrekturalgorithmen.

Übereinstimmend mit den Ergebnissen von AHNERT & RICHTER (2007) konnten an den Klauen deutlich geringere Oberflächentemperaturen nachgewiesen werden als an den Eutern. Die Erklärung hierfür liegt in der Wärmeregulation der Rinder. Als Enden der Extremitäten sind die Klauen Teil der Körperschale und zudem weiter vom Körperkern entfernt als das Euter (LYHS, 1971). Zudem ist das Euter aufgrund der Milchsynthese weitaus stärker durchblutet als die Klauen.

## **4.2 Abhängigkeit der Oberflächentemperatur von Einflussfaktoren**

### *4.2.1 Umgebungsfaktoren*

Die von BARTH (2000, 2001), RÖBNER (2005) und COLAK ET AL. (2008) genannten Einflussfaktoren Umgebungstemperatur, Luftbewegung (Windgeschwindigkeit) und Luftfeuchtigkeit wurden in der vorliegenden Arbeit untersucht. Dabei zeigte die Umgebungstemperatur den größten Einfluss auf die Oberflächentemperaturen an den interessanten Körperregionen. Sie wies als einziger der erfassten Umgebungsfaktoren Korrelationskoeffizienten im interessanten Bereich ( $r > 0,40$ ) auf. An den Eutern konnten Korrelationen von  $r=0,39$  bis  $r=0,72$  festgestellt werden. An der Schenkelfläche betrug die Korrelation  $r=0,45$  bis  $r=0,73$  sowie an den Klauen  $r=0,39$  bis  $r=0,46$ . Diese Korrelationen entsprechen in etwa den Angaben in der Literatur. So stellten ARAKI ET AL. (1984, 1987) eine Korrelation der Körperkerntemperatur laktierender Kühe zur Umgebungstemperatur von  $r=0,41$  bis  $r=0,46$  fest. Auch die von RÖBNER (2005) ermittelte Korrelation zwischen der Körperkerntemperatur und der Umgebungstemperatur ( $r=0,522$ ) liegt in diesem Bereich. Damit ist der Zusammenhang zwischen der Umgebungstemperatur und der Oberflächentemperatur bestimmter Körperregionen genauso stark wie der zwischen der Umgebungstemperatur und der Körperkerntemperatur. Eine weitaus höhere Korrelation berechnete dagegen WILHELM (2010) für den Zusammenhang von mittels IR-Thermographie ermittelter Klauensohlentemperatur an den hinteren Extremitäten und der Umgebungstemperatur mit  $r=0,764$ . Zur Klauensohlentemperatur der vorderen Extremitäten war der Zusammenhang mit  $r=0,599$  etwas schwächer. Beide Korrelationen sind deutlich höher als die in der vorliegenden Arbeit festgestellten Korrelationen. RÖBNER (2005) zeigte mit weiteren Ergebnissen, dass die Oberflächentemperatur im Euterbereich stärker von der Umgebungstemperatur abhängig ist als im Rumpfbereich, da das Euter weiter vom Körperkern entfernt ist. Die Vermutung, dass der Einfluss der Umgebungstemperatur auf die Klauen noch größer sei als beim Euter, weil die Klauen noch weiter vom Körperkern entfernt sind, konnte mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt werden. Die Oberflächentemperatur an den Klauen zeigte geringere Korrelationen zur Umgebungstemperatur als die Oberflächentemperatur am Euter und an der Schenkelfläche. Da die Umgebungstemperatur die Oberflächentemperatur beeinflusst, empfehlen SCHAEFER ET AL. (2004), dass die Umgebungstemperatur für die IR-Aufnahmen innerhalb der thermoneutralen Zone des Tieres liegen sollte. Das heißt in dem Temperaturbereich, indem die Rinder ohne verstärkte Wärmeabgabe oder -produktion ihre Körpertemperatur auf

normalem Niveau halten können. Dies ist für ein Gesundheitsmonitoring unter normalen landwirtschaftlichen Produktionsbedingungen unmöglich, da im Stall bzw. Melkstand oft 15°C erreicht oder überschritten werden. Ab dieser Umgebungstemperatur steigt die Körpertemperatur der Rinder signifikant (RÖBNER, 2005) und zeigt damit die Überschreitung der thermoneutralen Zone an. In diesem Fall empfehlen SCHAEFER ET AL. (2004) eine Akklimatisationszeit für die Tiere von mindestens zehn Minuten an die Bedingungen, bei denen die IR-Aufnahmen gemacht werden. Dies konnte unter den gegebenen Versuchsbedingungen gewährleistet werden, da die Tiere mindestens zehn Minuten auf dem Melkstand verbrachten bevor die IR-Aufnahmen im letzten Drittel des Melkkarussells (Betrieb 1 und 3) bzw. am Melkstandaustrieb (Betrieb 2) erfolgten. Eine Akklimatisationszeit von 30 Minuten, wie sie COLAK ET AL. (2008) in ihrer Untersuchung umsetzten, scheint für ein Gesundheitsmonitoring unter landwirtschaftlichen Produktionsbedingungen hingegen unrealistisch.

Mit gemessenen Werten von 33,0% bis 91,7% konnte ein breiter Bereich der an einem Melkstand möglichen relativen Luftfeuchte Messreihen abgedeckt werden. Dennoch konnte ein Zusammenhang zwischen relativer Luftfeuchte und Oberflächentemperatur anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht abgeleitet werden, da die Korrelationskoeffizienten gering waren (Euter:  $r=-0,26$  bis  $-0,19$ ; Schenkelfläche:  $r=-0,24$  bis  $-0,13$ ; Klauen:  $-0,12$  bis  $-0,05$ ). Dies bestätigt auch die Angaben von GLAS (2008), die ebenfalls zwischen der Luftfeuchte und der Oberflächentemperatur am Euter keinen Zusammenhang feststellte.

Den Zusammenhang zwischen Oberflächentemperatur und Windgeschwindigkeit (Luftbewegung) hat bisher nur RÖBNER (2005) untersucht. Sie beschreibt, dass die Oberflächentemperatur bei starkem Wind sinkt, da die Wärmeabgabe über Konvektion (erzwungene Wärmeabgabe) auf diese Weise deutlich erhöht wird. Starke Luftbewegungen konnten am Melkstand erwartungsgemäß nicht nachgewiesen werden (mittlere Luftbewegung: 0,12 bis 0,19 m/s). Demzufolge konnte auch zwischen der Oberflächentemperatur und der Luftbewegung kein Zusammenhang festgestellt werden (Euter:  $r=-0,26$  bis 0,01; Schenkelfläche:  $r=-0,24$  bis 0,01; Klauen:  $r=-0,05$  bis 0,03).

Damit lässt sich für den Einfluss der Umgebungsfaktoren zusammenfassend festhalten, dass unter den gegebenen Versuchsbedingungen lediglich die Umgebungstemperatur die Oberflächentemperatur beeinflusst. Für routinemäßige IR-Aufnahmen zum Gesundheitsmonitoring von Milchkühen muss dieser Faktor berücksichtigt werden, damit die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu verschiedenen Umgebungstemperaturen gewährleistet ist.



#### 4.2.2 Verschmutzung der Tiere

Untersucht wurde der Einfluss der Verschmutzungen der Tiere, weil RÖßNER (2005) die Verschmutzung der betrachteten Körperstelle als Einflussfaktor nennt. Bei starker Verschmutzung wird die Wärmestrahlung erschwert und die Oberflächentemperatur geringer erscheint. Aufgrund dessen erfolgte auch bei GLAS (2008) vor jeder IR-Aufnahme die Reinigung des Euters. Da dies für ein Gesundheitsmonitoring unter Praxisbedingungen unmöglich ist, sollte im Versuch geklärt werden, wie groß der Einfluss der Verschmutzungen tatsächlich ist. Ergebnis der Untersuchung war, dass zwischen den Oberflächentemperaturen der einzelnen Verschmutzungsklassen sowohl am Euter als auch an den Klauen Unterschiede bestanden. Jedoch waren diese sehr klein (ca. 0,1 K). Nur für einige IR-Kenngrößen konnten diese geringen Unterschiede als signifikant bestätigt werden. Wider Erwarten stiegen die Oberflächentemperaturen mit zunehmendem Verschmutzungsgrad an beiden Körperregionen an. Eine mögliche Ursache für dieses Ergebnis liegt in den geringen Klassifizierungsunterschieden zwischen den einzelnen Verschmutzungsnoten.

Des Weiteren wurde der Einfluss der Klauenfeuchte auf die Oberflächentemperatur untersucht. Hier waren die Oberflächentemperaturen an den feuchten bzw. nassen Klauen signifikant geringer als an trockenen Klauen. Obwohl auch hier die absoluten Unterschiede zwischen den Mittelwerten der einzelnen Klassen nur ca. 0,2 K betrug.

Trotz der zum Teil signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Verschmutzungsklassen sowie Feuchtegraden muss geschlussfolgert werden, dass ein automatisches Gesundheitsmonitoringsystem auf Basis der IR-Thermographie nicht durch Verschmutzungen und verschiedene Feuchtegrade beeinflusst wird. Die Gründe hierfür liegen zum einen in der Tatsache, dass die Unterschiede im Bereich der Messgenauigkeit des Systems liegen. Zum anderen weisen die Einzeltiere über den Verlauf des Messzeitraumes nur geringe bis keine Änderungen im Verschmutzungs- bzw. Feuchtegrad auf, sodass diese Faktoren zwar als tierindividuell aber stabil und damit vernachlässigbar anzusehen sind.

#### 4.2.3 Tageszeit

Die meisten biologischen Prozesse laufen in bestimmten zeitlichen Rhythmen ab (PENZLIN, 2005). Zu den am besten untersuchten Rhythmen gehört der circadiane Rhythmus, der eine Periodenlänge von 24 Stunden aufweist. Er zeigt sich unter anderem auch in der Körpertemperatur (PENZLIN, 2005). Um herauszufinden, ob dies auch für die untersuchten Milchkühe bestätigt werden kann, wurden zunächst die Rektaltemperaturen (Körperkerntemperaturen) der Versuchstiere und anschließend ihre Oberflächentemperaturen zu vier verschiedenen Tageszeiten erfasst und ausgewertet. Bei den Körpertemperaturen konnte festgestellt werden, dass zwischen allen vier täglichen Messzeitpunkten (6:30-7:00 Uhr; 10:00-10:30 Uhr; 18:30-19:00 Uhr; 22:00-22:30 Uhr) signifikante Unterschiede im Mittelwert bestehen. Dabei waren die Körpertemperaturen zum abendlichen Messzeitpunkt höher als zum morgendlichen. In den Untersuchungen von WRENN ET AL. (1961), BITMAN ET AL. (1984), LEFCOURT ET AL. (1999), PICCIONE ET AL. (2003), MORTOLA & LANTHIER (2004) und VERWOERD ET AL. (2006) wurden ebenfalls die täglichen Verläufe der Körpertemperatur bei Rindern ausgewertet. Obwohl die Studien zu unterschiedlichen Ergebnissen hinsichtlich der Tageszeit von Temperaturhochs und -tiefs sowie typischen Verlaufsmustern kommen, ist allen gemein, dass die Körpertemperatur von Rindern zu unterschiedlichen Tageszeitpunkten verschieden ausfällt. Diese Feststellung konnte mit den Ergebnissen der eigenen Untersuchungen bestätigt werden.

Wenn die Körpertemperatur tageszeitlich schwankt, leitet sich die Vermutung ab, dass auch die Oberflächentemperatur von der Tageszeit abhängig ist. Anhand der vorliegenden Ergebnisse konnte gezeigt werden, dass die Oberflächentemperaturen an allen interessanten Körperregionen zu unterschiedlichen Tageszeiten signifikant verschieden sind. Besonders zu beachten waren dabei die Unterschiede zwischen den Messzeiten 6:30-7:00 Uhr (1) und 18:30-19:00 (3) Uhr sowie zwischen 10:00-10:30 Uhr (2) und 22:00-22:30 Uhr (4). Hierbei handelte es sich um die Unterschiede zwischen den Tieren jeweils einer Haltungsgruppe zur morgendlichen und abendlichen Melkzeit. An den Eutern sowie an der Schenkelfläche konnten die Mittelwertunterschiede für diese Messzeiten als signifikant bestätigt werden. Die mittleren Oberflächentemperaturen an den Klauen hingegen unterschieden sich nur zwischen Messzeit 1 und 3, aber nicht signifikant bei Messzeit 2 und 4.

An allen Körperregionen konnten abends höhere Oberflächentemperaturen als morgens nachgewiesen werden. Damit entsprechen die Ergebnisse auch denen von BERRY ET AL. (2003), die einen monophasischen circadianen Rhythmus der Euteroberflächentemperatur mit einem Temperaturhoch am späten Nachmittag bzw. frühen Abend sowie eine Temperaturtief

am Morgen nachwiesen. GLAS (2008) fand ebenfalls Temperaturschwankungen an der Euteroberfläche im Tagesverlauf. Es zeigten sich tierindividuelle Unterschiede, dabei weist jedoch die Mehrheit der Tiere morgens geringere Oberflächentemperaturen auf als abends (GLAS, 2008).

Die Oberflächentemperaturunterschiede zwischen den einzelnen Tageszeitpunkten betrugen je nach Körperregion etwa 0,2 bis 0,4 K. Damit liegen die Ergebnisse in etwa in dem Bereich der täglichen Schwankungen, die auch AHNERT & RICHTER (2007) berechneten (0,3 bis 0,5 K). Höher hingegen vielen die Schwankungen bei GLAS (2008) mit 0,5 bis 0,9 K aus.

Anhand der tageszeitlichen Unterschiede von Rektaltemperatur und Oberflächentemperaturen an allen interessanten Körperregionen wird geschlussfolgert, dass der circadiane Rhythmus der Körpertemperatur sich nicht nur in der Körpertemperatur sondern auch in der Oberflächentemperatur abbilden lässt. Für ein automatisches Gesundheitsmonitoring basierend auf der IR-Thermographie muss somit die Messung der Oberflächentemperatur auf einen Tageszeitpunkt beschränkt werden, damit die Vergleichbarkeit der Messergebnisse eines Tieres über einen bestimmten Zeitraum hinweg gegeben ist. Dies entspricht auch der Empfehlung von SCHAEFER ET AL. (2004). Sie weisen darauf hin, dass aufgrund des circadianen Rhythmus der Körpertemperatur bei IR-Aufnahmen an mehreren Tagen darauf zu achten ist, dass die Bilder zur gleichen Tageszeit gemacht werden.

#### *4.2.4 Alter, Laktationsstadium, Milchleistung*

##### *Alter*

Die Auswertung der Oberflächentemperatur in Abhängigkeit von der Altersgruppe (1. Laktation, 2. Laktation,  $\geq 3$ . Laktation) ergab für alle Körperregionen und nahezu alle IR-Kenngrößen (Ausnahme: Schenkelfläche IR-TempMW 1. Messreihe) signifikante Unterschiede. Dabei wiesen ältere Kühe niedrigere Oberflächentemperaturen als jüngere Kühe auf. Besonders deutlich wird der Unterschied zwischen Tieren der ersten Laktation und Tieren ab der dritten Laktation.

Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Alter und Oberflächentemperatur der Tiere finden sich in der Literatur nicht. Lediglich COLAK ET AL. (2008) nennen als möglichen Einflussfaktor den physiologischen Status der Kuh, zu dem auch das Alter zählt. In Bezug auf die Körpertemperatur zeigen sowohl SCHEUNERT & TRAUTMANN (1987) als auch WRENN ET AL. (1961) höhere Temperaturen bei jungen Tieren (<12 Monate) als bei älteren (>12 Monate). Zwar sind laktierende Jungkühe deutlich älter als zwölf Monate und sollten demzufolge eine stabile Körpertemperatur und damit verbunden eine stabile Oberflächentemperatur zeigen. Damit war ein Unterschied zu den Altkühen nicht erwartet. Jedoch scheint in der ersten Laktation die Stabilität der Körpertemperatur aufgrund der neuen Stoffwechselsituation mit Einsetzen der Milchsynthese noch nicht gegeben zu sein. So zeigen Jungkühe höhere Oberflächentemperatur als Kühe ab der dritten Laktation.

##### *Laktationsstadium*

An der Körperregion der Euter zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Laktationsstadien ( $\leq 50$  Laktationstage,  $> 50$  und  $\leq 100$  Laktationstage,  $> 100$  und  $\leq 200$  Laktationstage,  $> 200$  und  $\leq 300$  Laktationstage,  $> 300$  Laktationstage), wobei die Oberflächentemperatur mit zunehmendem Laktationstag geringer wurde. An der Schenkelfläche und den Klauen zeigten sich ebenfalls signifikante Unterschiede. Allerdings stiegen die Oberflächentemperaturen ab dem 200. Laktationstag an. Ähnlich wie bei der Untersuchung zum Einfluss des Alters auf die Oberflächentemperatur konnten auch zum Einfluss des Laktationstages keine Quellen in der Literatur gefunden werden. Möglich ist jedoch eine Interpretation aus Untersuchungen der Körpertemperatur. So stellten WRENN ET AL. (1961) bei der Untersuchung der Körpertemperatur in Abhängigkeit vom Fruchtbarkeitsstatus fest, dass ovariectomisierte Tiere aufgrund des fehlenden Progesterons geringere Körpertemperaturen aufweisen als Kühe mit normalem Brunstzyklus und hochtragende Kühe. Dabei war die Körpertemperatur der hochtragenden Tiere am höchsten.

Die Übertragung dieser Ergebnisse auf die gemessenen Oberflächentemperaturen würde bedeuten, dass Tiere mit fortschreitendem Laktationstag auch in fortgeschrittenem Trächtigkeitsstadium befinden. Mit diesem zunehmenden Trächtigkeitsstadium würde nach WRENN ET AL. (1961) die Körpertemperatur ansteigen und sich damit die gemessene Oberflächentemperatur erhöhen. Dieser Zusammenhang ist an der Schenkelfläche und den Klauen nachweisbar. An den Eutern hingegen sinkt die Oberflächentemperatur mit steigendem Laktationstag. Mit zunehmender Laktationsdauer nimmt die jedoch Stoffwechselleistung und damit die Wärmeproduktion aus dem Futter ab. Zudem wäre denkbar, dass mit zunehmendem Laktationstag die Milchleistung sinkt und damit auch die Durchblutung sowie der gesamte Stoffwechsel im Euter abnimmt. Folglich reduziert sich auch die gemessene Oberflächentemperatur dieser Körperregion. Ein eindeutiger Einfluss der Milchleistung auf die Oberflächentemperatur der Milchkühe konnte jedoch nicht festgestellt werden (siehe folgendes Kapitel).

### *Milchleistung*

Wie bereits erwähnt konnte ein eindeutiger Einfluss der Milchleistung auf die Oberflächentemperatur nicht festgestellt werden. So konnten an den Eutern zwischen den einzelnen Leistungsklassen ( $\leq 15$  kg Milch/Kuh+Tag,  $>15$  und  $\leq 25$  kg Milch/Kuh+Tag,  $>25$  und  $\leq 35$  kg Milch/Kuh+Tag,  $>35$  kg Milch/Kuh+Tag) bei keiner IR-Kenngröße signifikante Unterschiede festgestellt werden.

An der Schenkelfläche konnten nur bei wenigen IR-Kenngrößen signifikante Unterschiede ermittelt werden. Die verschiedenen Messreihen zeigten dabei aber kein einheitliches Bild. Damit muss von Scheinsignifikanzen ausgegangen werden.

Für Klauen stand nur eine Messreihe mit sehr begrenztem Datenumfang (Milchleistungsstufe 1 unbesetzt) für die Auswertung zur Verfügung, so dass daraus keine Ableitung erfolgen kann.

Damit ist keine Ableitung eines Einflusses der Milchleistung auf die Oberflächentemperatur von einer der untersuchten Körperregionen möglich. Dies bestätigt die Ergebnisse der Untersuchung von RÖBNER (2005). Auch sie konnte keinen Zusammenhang zwischen der Milchleistung und der Körpertemperatur sowie der Oberflächentemperatur im Euterbereich feststellen. Das Produktionsniveau der Kuh, das bei COLAK ET AL. (2008) als möglicher Einflussfaktor auf die Ergebnisse der IR-Thermographie genannt wird, ist nach den vorliegenden Untersuchungen demzufolge nicht relevant.

### 4.3 Gesundheitsmonitoring Eutergesundheit

#### 4.3.1 Viertelspezifische elektrische Leitfähigkeit

Zwischen der Oberflächentemperatur an den Eutern und der viertelspezifischen elektrischen Leitfähigkeit im Vorgemelk konnte kein Zusammenhang festgestellt werden. In allen drei Messreihen und damit auf beiden Betrieben waren die Korrelationskoeffizienten nach PEARSON zwischen der Oberflächentemperatur und der elektrischen Leitfähigkeit kleiner als  $r=0,2$ . Zudem trugen alle Korrelationskoeffizienten ein negatives Vorzeichen. Dies würde bedeuten, dass mit zunehmender elektrischer Leitfähigkeit und damit mit sich verschlechternder Eutergesundheit die Oberflächentemperatur abnimmt. Diese Erkenntnis steht im Gegensatz zu den bisher in der Literatur veröffentlichten Ergebnissen. So stellten SCHAEFER ET AL. (2004), GLAS (2008), HOVINEN ET AL. (2008), BARTH (2000, 2001) und COLAK ET AL. (2008) eine steigende Oberflächentemperatur bei Verschlechterung der Eutergesundheit fest. Daraufhin wurden die Eutergesundheitsparameter somatische Zellzahl und zytobakteriologische Untersuchung von Viertelgemelksproben der Oberflächentemperatur gegenübergestellt.

#### 4.3.2 Somatische Zellzahl

Zwischen dem Somatic Cell Score des Gesamtgemelks und der Oberflächentemperatur konnte über die Korrelation nach PEARSON kein Zusammenhang nachgewiesen werden. Die Korrelationskoeffizienten waren kleiner als  $r=0,2$  und trugen zum Teil ein negatives Vorzeichen. Ein ähnliches Bild zeigte sich auch beim Referenzparameter viertelspezifischer Somatic Cell Score. Auch hier war kein Zusammenhang zur Oberflächentemperatur am Euter feststellbar. Die Korrelationskoeffizienten waren kleiner als  $r=0,2$  und trugen alle ein negatives Vorzeichen. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass bei steigender Zellzahl die Oberflächentemperatur geringer wird. Damit zeigen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit ein gänzlich anderes Bild als vorangegangene Untersuchungen. Zwar konnte auch BARTH (2000, 2001) keinen deutlichen Zusammenhang zwischen Somatic Cell Count und Oberflächentemperatur am Euter nachweisen. Aber sie stellte zumindest einen Anstieg der Oberflächentemperatur bei steigender Zellzahl fest. COLAK ET AL. (2008) hingegen fanden eine hohe Korrelation ( $r=0,92$ ) zwischen der Oberflächentemperatur und den Ergebnissen des California Mastitis Tests, der indirekt die somatische Zellzahl bei Differenzierung in Hunderttausender Schritten widerspiegelt. Die Autoren schlussfolgerten daraus, dass die IR-thermographische Temperaturmessung sensibel genug ist, um Veränderungen der

Euteroberflächentemperatur bei unterschiedlicher Schwere der Milchdrüsenentzündung zu detektieren. Dieser Ableitung kann aus den bisherigen Ergebnissen zu den Referenzparametern der Eutergesundheit dieser Arbeit nicht gefolgt werden.

#### 4.3.3 Zytobakteriologische Untersuchung von Viertelgemelksproben

Die Ergebnisse der zytobakteriologischen Untersuchung der Viertelanfangsgemelksproben wurden nach den Angaben Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft (HAMANN & FEHLINGS, 2002) in vier Kategorien eingestuft (normale Sekretion, latente Infektion, unspezifische Mastitis, Mastitis). Die Mittelwerte der einzelnen Kategorien zeigten einen deutlichen Trend einer abnehmenden Oberflächentemperatur mit zunehmender Schwere der Milchdrüsenentzündung. Die Unterschiede der Mittelwerte konnte in Messreihe 1 (Betrieb 1; Melkkarussell Typ: Side-by-Side; 160 Tiere) nicht als signifikant abgesichert werden. In Messreihe 5 (Betrieb 3; Melkkarussell Typ: Side-by-Side; 359 Tiere) jedoch ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den Kategorien normale Sekretion und unspezifische Mastitis sowie zwischen normaler Sekretion und Mastitis. Darüber hinaus wurden unter Verwendung eines Testtagsmodells die Least-Square Means von gesunden Eutervierteln (normale Sekretion) mit denen von kranken Eutervierteln (latente Infektion, unspezifische Mastitis, Mastitis) mit Hilfe der GLS-Methode bei verschiedenen Umgebungstemperaturen verglichen. Im Ergebnis konnten in Messreihe 1 keine signifikanten Unterschiede der Least-Square Means ermittelt werden. In Messreihe 5 hingegen waren die Unterschiede beider Gruppen bei Umgebungstemperaturen zwischen 16 und 18 bzw. 19°C signifikant. In beiden Messreihen zeigten sich dabei geringere Oberflächentemperaturen an den kranken Eutervierteln als an den gesunden. Damit wird der Zusammenhang von geringeren Oberflächentemperaturen bei Eutervierteln mit schlechterem Eutergesundheitszustand nochmals deutlich.

Somit zeigen die Ergebnisse aller Referenzuntersuchungen zur Eutergesundheit ein eindeutiges Ergebnis. Dieses Ergebnis jedoch ist gänzlich konträr zu den Ergebnissen in der Literatur. So zeigten alle ausgewerteten Quellen (SCHAEFER ET AL., 2004; GLAS, 2008; HOVINEN ET AL., 2008; BARTH, 2000; 2001; COLAK ET AL., 2008) eine steigende Oberflächentemperatur bei sich verschlechterndem Eutergesundheitszustand. Sowohl bei SCHAEFER ET AL. (2004) und GLAS (2008) als auch bei HOVINEN ET AL. (2008) wurden für die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Eutergesundheit und der Euteroberflächentemperatur einzelne Euterviertel der Versuchstiere mit *E. coli* infiziert.

Dieser pathogene Keim löst eine systemische Reaktion aus und zeigt einen besonders schweren Verlauf der Milchdrüsenentzündung einschließlich einer deutlichen Erhöhung der Euteroberflächentemperatur und der Rektaltemperatur. Ein solch schwerer Verlauf einer Milchdrüsenentzündung konnte unter den Produktionsbedingungen, unter denen die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit durchgeführt wurden, nicht festgestellt werden. So zeigten auch die Ergebnisse der zytobakteriologischen Untersuchungen kein *E. coli*. Nachgewiesen werden konnten in den Milchproben Streptokokken (dysgalactiae, äskulinpositive, sonstige), Staphylokokken (aureus, koagulase-negative) sowie coliforme Keime). Damit ist das untersuchte Erregerspektrum ein völlig anderes. Denkbar ist, dass unter gegenwärtigen Produktionsbedingungen und damit verbunden auftretenden moderaten Mastitiden keine Erhöhung der Oberflächentemperatur feststellbar ist. Offen bleibt die Frage, ob die frühzeitige Detektion der Absenkung der Oberflächentemperatur durch eine physiologische Reaktion auf einen Erreger begründbar ist. In der Literatur fanden sich dazu keine Hinweise. Denkbar ist aber, dass bei Beginn der Immunreaktion zunächst der Sollwert der Temperatur im Euter nach oben gestellt wird, da nach der Van't-Hoff'schen Regel chemische Prozesse und damit auch die Abwehrreaktion bei Temperaturanstieg von 1°C um 10-15% gesteigert werden können. Zur Erreichung dieses neuen Sollwertes würde die Wärmeabgabe des Euters stark eingeschränkt (Vasokonstriktion) und das Euter würde nach außen zunächst kühler erscheinen. Mit dieser physiologischen Reaktion wären dann auch die geringen Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Mastitiskategorien von 0,2 bis 0,3 K erklärbar.

Der nicht gefundene Zusammenhang zwischen elektrischer Leitfähigkeit und Oberflächentemperatur sowie zwischen somatischer Zellzahl und Oberflächentemperatur beruht möglicherweise auf einer zeitversetzten Reaktion dieser Eutergesundheitsparameter. So stellten HOVINEN ET AL. (2008) fest, dass die Euteroberflächentemperatur eher auf die Infektion mit *E. coli* reagiert als andere Eutergesundheitsparameter (Somatic Cell Count, elektrische Leitfähigkeit, N-Acetyl-β-D-Glucosaminidase). Somit ist ein Zusammenhang nur über eine zeitlich versetzte Korrelation nachweisbar. Um ein endgültiges Ergebnis für diese Zusammenhänge zu erhalten, müssten also weitere Untersuchungen erfolgen, die eine zeitlich versetzte Reaktion dieser Parameter bei einer Abwehrreaktion im Euter berücksichtigen.



## **4.4 Gesundheitsmonitoring Klauengesundheit**

### *4.4.1 Locomotionscore*

Der Mittelwertvergleich der Oberflächentemperaturen an den Klauen in Abhängigkeit vom Locomtionscore (normal, leicht lahm, mittelmäßig lahm, lahm, schwer lahm) ergab signifikante Unterschiede bei allen IR-Kenngrößen. Mit Hilfe des Post-Hoc-Tests nach BONFERRONI konnten die Unterschiede zwischen den Gruppen leicht lahm und mittelmäßig lahm sowie zwischen leicht lahm und lahm als signifikant bestätigt werden. Dabei zeigten Tiere mit zunehmendem Lahmheitsgrad eine höhere Oberflächentemperatur an den Klauen. Bei den deutlich geringeren Oberflächentemperaturen mit großer Standardabweichung von Klauen mit schwerer Lahmheit ist die geringe Anzahl der ausgewerteten Daten in dieser Klasse zu beachten. Es konnte nachgewiesen werden, dass mit steigendem Lahmheitsgrad die Oberflächentemperatur an den Klauen steigt. Jedoch müssen diese Ergebnisse kritisch betrachtet werden, da der Locomotionscore immer für ein Tier erfasst wird und nicht für eine bestimmte Klaue. Das bedeutet, dass sowohl die Klaue HR als auch die Klaue HL in die Klasse lahm eingeordnet werden, wenn das Tier eine Lahmheit zeigt. Dabei bleibt aber ungeklärt, auf welcher Klaue die Lahmheit beruht. Dafür kommen nicht nur die hinteren Klauen sondern auch die vorderen in Frage. Darüber hinaus lässt der Locomotionscore keine Rückschlüsse auf eine tatsächlich vorhandene Klauenerkrankung zu. Denn Lahmheiten können auch aus veränderten Bewegungsabläufen z.B. an Hüfte oder Schulter resultieren. Damit bleibt die Frage offen inwieweit der Locomotionscore tatsächlich Klauenerkrankungen widerspiegelt. Zu dieser Erkenntnis gelangten auch AHNERT & RICHTER (2007). Sie fanden über die Korrelation der Oberflächentemperatur an den Klauen und dem Locomotionscore keinen Zusammenhang. Dabei stellten sie die Frage, ob der Locomotionscore überhaupt Rückschlüsse auf die Klauengesundheit zulässt. Informationen dazu finden sich in der Literatur nicht.

#### 4.4.2 Befundung der Klauen

In der Messreihe 2 (Betrieb 1; Melkkarussell Typ: Side-by-Side; 84 Tiere) zeigte der Mittelwertvergleich signifikante Unterschiede zwischen Klauen ohne Befund und Klauen mit Rusterholzschem Sohlengeschwür sowie die Tendenz, dass auch Klauen mit mehreren Befunden eine deutlich höhere Oberflächentemperatur aufweisen als Klauen ohne Befund. Dieses Ergebnis konnte in Messreihe 4 (Betrieb 2; Fischgrätenmelkstand; 138 Tiere) bestätigt werden. Dort konnten signifikant höhere Oberflächentemperaturen an Klauen mit Befunden sowie an Klauen mit Rusterholzschem Sohlengeschwür gegenüber Klauen ohne Befund festgestellt werden. Darüber hinaus zeigten auch Klauen mit Mortellaro eine signifikant erhöhte Oberflächentemperatur im Vergleich zu Klauen ohne Befund. Daraus wird geschlussfolgert, dass sich entzündliche Klauenerkrankungen wie das Rusterholzsche Sohlengeschwür und Mortellaro durchaus durch eine erhöhte Oberflächentemperatur an den Klauen abbilden lassen. Erkrankungen wie die Klauenrehe, die im Inneren des Klauenhorns beginnt, hingegen lassen sich nicht durch erhöhte Oberflächentemperaturen feststellen. Ebenso zeigen auch Wandläsionen und Weiße Linie Defekte keine erhöhten Oberflächentemperaturen. Mortellaro konnte nur in Messreihe 4 über signifikant erhöhte Oberflächentemperatur nachgewiesen werden, da die Erkrankung sowohl entzündliche als auch nicht entzündliche Stadien hat. Während in Messreihe 2 viele Mortellaro-Erkrankungen etwa zwei Monate vor der Untersuchung ausbrachen und daraufhin behandelt wurden, waren zwar noch viele Mortellaro-Erkrankungen im Versuch zu dokumentieren. Diese waren aber in der Abheilung und damit nicht mehr entzündlich. In Messreihe 4 hingegen waren alle dokumentierten Mortellaro-Erkrankungen noch unbehandelt und damit als Erstbefund im entzündlichen Stadium. Sowohl Mortellaro als auch das Rusterholzsche Sohlengeschwür sind im Gegensatz zu vielen anderen Klauenerkrankungen nach Aussagen des Klauenpflegepersonals aller Betriebe sowie der Tierärzte sehr gut behandelbar. Ein frühzeitiges Erkennen dieser Erkrankungen durch die IR-Thermographie bedeutet damit für die Betriebe bessere Heilungsraten sowie betriebswirtschaftliche Vorteile durch ein frühzeitiges Eingreifen in den Krankheitsverlauf.

Der Vergleich der Oberflächentemperaturen anhand von LS-Means bei gesunden Klauen (keine Erkrankung vorhanden) und kranken Klauen (mindestens eine Neuerkrankung vorhanden) zeigte keine signifikanten Unterschiede. Deutlich wurde aber, dass bei allen Umgebungstemperaturen die kranken Klauen eine um etwa 1 K erhöhte Oberflächentemperatur gegenüber gesunden Klauen aufwiesen.

Mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit bestätigen sich die Ergebnisse von AHNERT & RICHTER (2007), die herausfanden, dass die Oberflächentemperaturen an Klauen mit Klauenerkrankungen ca. 1,5 K höher sind als an Klauen ohne Klauenerkrankung. Dabei differenzierten sie nicht nach bestimmten Klauenerkrankungen. NIKKHAH ET AL. (2004, 2005) ermittelten höhere Kronsaumtemperaturen bei Kühen der früheren bis mittleren Laktation als bei Tieren in der späten Laktation und begründeten diesen Sachverhalt mit signifikant häufigerem Auftreten von Druckstellen bei Tieren in der frühen und mittleren Laktation. Sowohl AHNERT & RICHTER (2007) als auch GSCHÖDERER ET AL. (2006) und NIKKHAH ET AL. (2004, 2005) kommen zu der Schlussfolgerung, dass anhand der thermographischen Aufnahmen keine exakte Diagnose zum Vorliegen einer bestimmten Klauenerkrankung möglich sind, aber mit Hilfe der IR-Thermographie ist die Selektion auffälliger Tiere möglich, um rechtzeitig eine Begutachtung durch das Klauenpflegepersonal zu veranlassen. Dieser Argumentation kann auch mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit gefolgt werden. Lediglich WILHELM (2010) fand keinen Zusammenhang zwischen der Verschlechterung der Klauengesundheit und der Erhöhung der Oberflächentemperatur an den Klauen. Im Gegensatz zu allen anderen Arbeiten untersuchte sie nicht die Temperatur an der Rückseite der Klauen (oberhalb Klauenhorns und unterhalb Afterklauen) oder die Kronsaumtemperatur sondern die Klauensohlentemperatur. Damit liegt die Vermutung nahe, dass sowohl die Temperatur an der Rückseite der Klauen als auch die Kronsaumtemperatur zur Identifizierung von Tieren mit Klauenerkrankungen geeignet ist, die Klauensohlentemperatur hingegen nicht. Damit ist auch die in der vorliegenden Arbeit gemessene Klauentemperatur aussagefähig für die Unterscheidung zwischen gesunden und kranken Klauen.

#### 4.5 Gesundheitsmonitoring Allgemeinzustand (Fieber)

Als Fläche zur Ermittlung von Fieber wurde die Schenkelfläche gewählt. Den Oberflächentemperaturen dieser Körperregion wurden die Rektaltemperaturen (Körperkerntemperatur) gegenübergestellt. Dabei ergab die Auswertung der Korrelation nach PEARSON, dass in allen drei Messreihen und damit auf beiden Versuchsbetrieben kein Zusammenhang zwischen der Oberflächentemperatur an der Schenkelfläche und der Rektaltemperatur besteht. Dies wurde geschlussfolgert, weil die Korrelationskoeffizienten kleiner als  $r=0,25$  waren. Ähnlich geringe Korrelationen fanden auch COLAK ET AL. (2008), die allerdings die Oberflächentemperatur am Euter mit der Rektaltemperatur verglichen. Weitaus höhere Korrelationen von  $r=0,98$  bzw.  $r=0,92$  hingegen fanden HOVINEN ET AL. (2008) bei der Gegenüberstellung von mittlerer und maximaler Euteroberflächentemperatur und der Rektaltemperatur. Die von RAINWATER-LOVETT ET AL. (2008) gefunden Korrelationen zwischen Rektaltemperatur und Klauenoberflächentemperatur ( $r=0,53$ ) bzw. der Augenoberflächentemperatur ( $r=0,50$ ) sind dagegen eher gemäßigt. AHNERT & RICHTER (2007) fanden zwar keine Korrelation zwischen der Rektaltemperatur und der Klauenoberflächentemperatur, aber zwischen der Rektaltemperatur und der Euteroberflächentemperatur ( $r=0,42$ ) bzw. der Oberflächentemperatur im Bereich des Rektums ( $r=0,34$ ). Damit lässt sich aus der Literatur kein einheitlicher Zusammenhang ableiten.

In der vorliegenden Arbeit wurde im Gegensatz zu den genannten Quellen die Schenkelfläche zur Erkennung des Allgemeinzustandes (Fieber) herangezogen. Alle anderen Quellen beziehen Flächen wie die Klauen oder Euter ein, bei denen etwaige Veränderungen der Rektaltemperatur durch Entzündungsprozesse der einzelnen Körperteile überlagert werden könnten. So geht nicht jede Euterentzündung bzw. Klauenerkrankung auch mit der Veränderung der Körperkerntemperatur einher.

Zudem wurden die Mittelwerte der Oberflächentemperaturen von Tieren mit unverändertem Allgemeinzustand und mit Fieber (veränderter Allgemeinzustand, Rektaltemperatur  $>39,5^{\circ}\text{C}$ ) miteinander verglichen. Dabei zeigten die Ergebnisse kein einheitliches Bild. Während in Messreihe 1 (Betrieb 1; Melkkarussell Typ: Side-by-Side; 160 Tiere) die Tiere mit Fieber eine signifikant erhöhte Oberflächentemperatur an der Schenkelfläche aufwiesen, war dies in den weiteren Messreihen 3 (Betrieb 1; Melkkarussell Typ: Side-by-Side; 249 Tiere) und 5 (Betrieb 3; Melkkarussell Typ: Side-by-Side; 359 Tiere) nicht der Fall. In diesen waren die Mittelwerte der Oberflächentemperaturen der Tiere mit Fieber geringer als die der Tiere mit unverändertem Allgemeinzustand. Jedoch konnten geringere Oberflächentemperaturen nur in

Messreihe 5 bei den nicht um die Umgebungstemperatur korrigierten Werten als signifikant abgesichert werden. Ein eindeutiges Bild mit einer 1,5 K erhöhten Oberflächentemperatur von Tieren mit Fieber gegenüber denen ohne Fieber wie bei AHNERT & RICHTER (2007) konnte so nicht festgestellt werden. Ähnlich wie bei den Oberflächentemperaturen an den Eutern könnte die geringere Oberflächentemperatur der Tiere mit Fieber aus der Immunantwort des Körpers resultieren. Denn mit Einsetzen des Fiebers wird die Sollwerttemperatur des Körpers nach oben gesetzt (VON ENGELHARDT & BREVES, 2000; LYHS, 1971), um die Immunantwort und die damit verbundenen chemischen Prozesse zu beschleunigen. Dabei reagiert der Körper wie in kalter Umgebung mit verstärkter Wärmebildung und verminderter Wärmeabgabe also durch Vasokonstriktion, Stoffwechselsteigerung, Kältezittern (VON ENGELHARDT & BREVES, 2000; LYHS, 1971). Die Oberflächentemperatur erscheint dadurch geringer. Bei Abfall des Fiebers, dabei können immer noch Rektaltemperaturen von über 39,5°C gemessen werden, wird die Körperkerntemperatur durch verstärkte Wärmeabgabe wieder auf normales Niveau herunter geregelt (VON ENGELHARDT & BREVES, 2000; LYHS, 1971). In dieser Phase der Fieberreaktion würde die Oberflächentemperatur erhöht erscheinen. Da nicht festgestellt werden kann in welcher Phase des Fiebers (Erhöhung oder Senkung der Körperkerntemperatur) die Oberflächentemperatur gemessen wird, kann auch nicht festgelegt werden, ob die Oberflächentemperatur erhöht oder abgesenkt erscheinen wird.

So kann erklärt werden, warum über die Korrelation kein Zusammenhang zwischen Rektaltemperatur und Oberflächentemperatur ermittelt werden konnte. Aufgrund der verschiedenen Phasen der Fieberreaktion ist von einer zeitlich verschobenen Reaktion der beiden Parameter auszugehen. Um ein endgültiges Ergebnis für diese Zusammenhänge zu erhalten, müssten also weitere Untersuchungen ähnlich wie beim Euter erfolgen, die eine zeitlich versetzte Reaktion dieser Parameter bei einer Fieberreaktion berücksichtigen können.

#### **4.6 Identifizierung erkrankter Tiere anhand der Oberflächentemperatur**

Anhand der Mittelwertvergleiche konnten für die betrachteten Erkrankungskomplexe der Körperregionen Euter, Klauen und Schenkelfläche zum Teil signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Kategorien berechnet werden. Die dargestellten Boxplots zeigen jedoch, dass sich die Verteilung der Oberflächentemperaturen in den einzelnen Erkrankungskategorien stark ähneln und sich nicht klar abgrenzen lassen. Damit liegen auch kranke Tiere innerhalb der biologischen Variabilität von gesunden Tieren und lassen sich so nur schwer unterscheiden. Eine Erklärung dafür liegt im veranschaulichten sehr individuellen Verlauf der Oberflächentemperatur auf einem tierspezifischen Niveau. Zu der Erkenntnis, dass die charakteristische Ausprägung von Temperaturverläufen stark vom Einzeltier abhängig ist, kamen bereits WRENN ET AL. (1961). Neben der zeitlich verschobenen Reaktion der Eutergesundheitsparameter bzw. der Rektaltemperatur und der Oberflächentemperatur lassen sich die erwarteten, aber nicht gefunden korrelativen Zusammenhänge auch durch diese einzeltierspezifische Ausprägung der Oberflächentemperatur erklären.

Für die Identifizierung erkrankter Tiere müssen also tierindividuelle Algorithmen ausgewertet werden. Bestätigt wird dies durch die Validitätsmaße Sensitivität und Spezifität bei der Untersuchung des allgemeinen Algorithmus I bei allen Erkrankungskomplexen. Dabei wurden die Tiere als auffällig gewertet, wenn der Mittelwert und die dazugehörige Standardabweichung aller Tiere überschritten wurden. Im Gegensatz zu den tierindividuellen Algorithmen war die Sensitivität deutlich verringert und damit die Erkennung erkrankter Tiere erschwert. Ein wesentlicher Vorteil der Suche erkrankter Tiere mit Hilfe von tierindividuellen Algorithmen ist, dass Einflussfaktoren wie z.B. Laktationsnummer, Laktationstag oder Verschmutzung vernachlässigt werden können. Lediglich die Umgebungstemperatur muss berücksichtigt werden, um vergleichbare Werte bei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen zu erhalten. Aufgrund der Ergebnisse, dass sowohl erkrankte Euterviertel als auch Tiere mit Fieber mit abgesenkter Oberflächentemperatur erscheinen können, wurden bei diesen Erkrankungskomplexen in der tierindividuellen Betrachtung sowohl die Abweichung nach oben als auch nach unten als auffällig gewertet.

Hinsichtlich der Eutererkrankungen konnten je nach Algorithmus Sensitivität im Bereich von 30 bis 60% bei Spezifität von 40 bis 70% festgestellt werden. Eine Steigerung der Sensitivität bei Erhaltung der Spezifität konnte durch die zusätzliche Betrachtung der viertelspezifischen elektrischen Leitfähigkeit im Vorgemelk erreicht werden. Damit scheint eine Parameterkombination sinnvoll. Zu ähnlich hohen Validitätsmaßen kommen auch

WIEDEMANN (2004) und BRANDT ET. AL (2011). Sie untersuchten dabei bereits in der Praxis eingesetzte Erkennungsautomatismen. Damit erreicht die Eutergesundheitsüberwachung mit Hilfe der IR-Thermographie gleiche Findungsraten, wie die bereits in automatischen Melksystemen angewendeten Erkennungsmechanismen.

Bei der Identifizierung klauenkranker Tiere konnte die höchste Sensitivität (ca. 50%) und Spezifität (ca. 70%) unter Berücksichtigung eines möglichst langen Beobachtungszeitraumes (21 Tage) erzielt werden. Da Klauenerkrankungen sich über längere Zeiträume ausbilden und sich nicht wie z.B. Euterentzündungen innerhalb weniger Stunden manifestieren, ist die Betrachtung entsprechend langer Referenzzeiträume sinnvoll. Der Vergleich der beiden Extremitäten hingegen erbrachte entgegen der Erwartungen weniger gute Resultate. Damit kann der Erkenntnis von GSCHÖDERER ET AL. (2006), die davon ausgehen, dass die absolute Oberflächentemperatur weniger entscheidend ist, sondern der Unterschied zwischen den Extremitäten zählt, nicht gefolgt werden. Zwar ist die absolute Oberflächentemperatur nicht relevant aber wichtiger als die Unterschiede zwischen linker und rechter Extremität sind Veränderungen über die Zeit. Denn Klauenerkrankungen können an beiden Extremitäten zeitgleich auftreten. Ein Vergleich der Validitätsmaße hinsichtlich der Identifizierung klauenkranker Tiere mit bereits in der Praxis eingesetzten Systemen ist nicht möglich, da derzeit nur ein System auf dem Markt verfügbar ist (StepMetrix<sup>TM</sup> der Firma Boumatic). Zu diesem sind in der Literatur keine Angaben zur Sensitivität und Spezifität hinsichtlich der Erkennung von Klauenerkrankungen veröffentlicht. Verglichen werden können die Ergebnisse mit denen von AHNERT & RICHTER (2007), die nach manueller optischer Einstufung der IR-Aufnahmen auffällige und unauffällige Tiere dem Klauenpflegepersonal vorstellten. Dabei errechneten sie eine Sensitivität von 90,6% bei einer Spezifität von 78,6%. Diese Ergebnisse konnten über eine automatische Gesundheitsüberwachung noch nicht erreicht werden. Bei weiterer Untersuchung der Zusammenhänge von Klauenerkrankungen und Oberflächentemperatur an den Klauen sowie einer technischen Möglichkeit zur Erkennung aller vier Gliedmaßen auch bei Tieren in Bewegung wird die IR-Thermographie ein Bestandteil der automatischen Gesundheitsüberwachung werden können.

Bei der Identifizierung von Tieren mit Fieber (Rektaltemperatur  $\geq 39,5^{\circ}\text{C}$ ) bleibt festzuhalten, dass diese Tiere durchaus mit Hilfe der IR-Thermographie identifizierbar sind. Dabei ist die Sensitivität von 40 bis 50% bei Spezifität von ca. 50% beachtlich. Mit diesen Ergebnissen, ist die IR-Thermographie eine erste Möglichkeit den Fieberzustand ohne zusätzliche manuelle Arbeit zu erkennen.

## 5 Abschließende Betrachtung

In der vorliegenden Arbeit konnten zunächst Einflussfaktoren auf die Messung der Oberflächentemperatur mittels IR-Thermographie zur automatischen Gesundheitsüberwachung von Milchkühen identifiziert werden. Diese sind:

- Umgebungstemperatur
- Alter
- Laktationsstadium
- Tageszeit

Als zu vernachlässigende Einflussfaktoren unter den Bedingungen am im Gebäude befindlichen Melkstand der alltäglichen Produktion hingegen stellten sich heraus:

- Luftgeschwindigkeit
- relative Luftfeuchte
- Verschmutzung der Tiere
- Milchleistung

Die Ergebnisse zeigen, dass vermutlich auch betriebliche Einflüsse auf die Oberflächentemperatur vorhanden sind. Bei einem möglichen Einsatz der IR-Thermographie zum Gesundheitsmonitoring bei Milchkühen müssen die Algorithmen nicht nur tierindividuell angepasst sondern für jeden Betrieb neu kalibriert werden. Damit werden vor dem praktischen Einsatz der neuen Technologie weiterführende Untersuchungen zum Betriebseffekt notwendig.

Eine Erkennung von euter- und klauenkranken Tieren sowie von Tieren mit Fieber ist anhand tierindividueller Algorithmen möglich. Dabei ist die Sensitivität und Spezifität für einen Einsatz unter landwirtschaftlichen Produktionsbedingungen derzeit noch nicht akzeptabel. Wenn davon ausgegangen wird, dass durch eine weiterführende Forschung auf diesem Gebiet die Validitätsmaße z.B. durch Kombination mit anderen Gesundheitsparametern aus dem Herdenmanagement gesteigert werden kann, ist der Einsatz dieser Technologie in den nächsten Jahren wahrscheinlich. Gerade bei der Erkennung klauenkranker Tiere sowie von Tieren mit Fieber, für die derzeit keine praxisreife Alternative besteht, ist der Einsatz der IR-Thermographie anhand einer weiterentwickelnden technischen Lösung möglich.



## 6 Zusammenfassung

In den letzten Jahren ist in der Milchproduktion der Trend zu beobachten, dass die Herdengröße bei stagnierendem Arbeitskräftebesatz steigt. Im Zuge dieser Entwicklung werden zunehmend automatisierte Systeme auf den landwirtschaftlichen Betrieben eingesetzt. Das Problem der automatischen Gesundheitsüberwachung der Milchkühe ist dabei noch nicht vollständig gelöst. Da sowohl Mastitiden als auch Klauenerkrankungen, die beiden häufigsten und wirtschaftlich bedeutendsten Milchvieherkrankungen, symptomatische Veränderungen der Temperatur hervorrufen, stellt die präzise Messung der Oberflächentemperatur mittels Infrarot (IR)-Thermographie einen vielversprechenden Ansatz zur Erkennung dieser dar. Darüber hinaus könnte auf diese Weise auch die ansteigende Körpertemperatur bei Veränderung des Allgemeinzustandes (Fieber) erkannt werden.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde in insgesamt sechs Messreihen in drei Betrieben untersucht, welche Einflüsse auf mittels IR-Thermographie gemessene Oberflächentemperaturen vorhanden sind. Darüber hinaus wurden mit Hilfe erfasster Referenzuntersuchungen, die Rückschlüsse auf den Gesundheitszustand der Euter, Klauen und des Allgemeinzustandes zulassen, Zusammenhänge zwischen den Oberflächentemperaturen und Referenzdaten dargestellt. Letztlich wurden Algorithmen, die die Tiere anhand ihrer Oberflächentemperatur in die Kategorien auffällig und unauffällig einstufen, anhand des diagnostischen Tests bezüglich der Eignung der IR-Thermographie für ein automatisches Gesundheitsmonitoringsystem bei Milchkühen bewertet.

Als Einflussfaktoren auf die Messung der Oberflächentemperatur konnten identifiziert werden: Umgebungstemperatur, Alter und Laktationsstadium des Tieres und Tageszeitpunkt der Messung. Als zu vernachlässigende Einflussfaktoren unter den Bedingungen am Melkstand stellten sich heraus: Luftgeschwindigkeit, relative Luftfeuchte, Verschmutzung der Tiere und Milchleistung.

Hinsichtlich der Eutergesundheit konnte festgestellt werden, dass es keine korrelativen Zusammenhänge zwischen Oberflächentemperatur der Euterviertel und viertelspezifischer elektrischer Leitfähigkeit im Vorgemelk ( $r < 0,2$ ) sowie zwischen Oberflächentemperatur und somatischer Zellzahl ( $r < 0,2$ ) gibt. Nach der Kategorisierung der Ergebnisse der zytobakteriologischen Untersuchung konnten signifikante Unterschiede zwischen Eutervierteln mit normaler Sekretion und unspezifischer Mastitis nachgewiesen werden.

( $p < 0,05$ ). Anhand tierindividueller Algorithmen können Tiere mit Eutererkrankungen mit einer Sensitivität von 30 bis 60% bei Spezifität von 40 bis 70% detektiert werden.

Hinsichtlich der Klauenerkrankungen konnte festgestellt werden, dass signifikante Unterschiede zwischen Klauen ohne Befund und Klauen mit Rusterholzschem Sohlengeschwür sowie zwischen Klauen ohne Befund und Klauen mit Mortellaro bestehen ( $p < 0,05$ ). Darüber hinaus zeigen auch Klauen mit mehreren Befunden eine signifikant höhere Oberflächentemperatur als Klauen ohne Befund ( $p < 0,05$ ). Die Identifikation von klauenkranken Tiere mit Hilfe tierindividueller Algorithmen kann mit einer Sensitivität von fast 50% bei einer Spezifität von 70% erfolgen.

Zwischen der Rektaltemperatur und der Oberflächentemperatur an der Schenkelfläche konnte kein korrelativer Zusammenhang gefunden werden ( $r < 0,2$ ). Dennoch sind Tiere mit Fieber (Rektaltemperatur  $\geq 39,5^\circ\text{C}$ ) anhand tierindividueller Algorithmen mit einer Sensitivität 40 bis 50% bei einer Spezifität von 50% identifizierbar.

Durch die IR-Thermographie ist Erkennung von euter- und klauenkranken Tieren sowie von Tieren mit Fieber also anhand tierindividueller Algorithmen möglich. Dabei ist die Sensitivität und Spezifität für einen Einsatz unter landwirtschaftlichen Produktionsbedingungen derzeit noch nicht akzeptabel. Wenn davon ausgegangen wird, dass durch eine weiterführende Forschung auf diesem Gebiet die Validitätsmaße z.B. durch Kombination mit anderen Gesundheitsparametern aus dem Herdenmanagement gesteigert werden kann, ist der Einsatz dieser Technologie in den nächsten Jahren wahrscheinlich.

## 7 Summary

In the last years there is a trend in milk production of growing herd sizes with a stagnating count of labour. Because of this more and more automatic systems are used on the farms. Until now there is no solution for automatic health monitoring of dairy cows. Mastitis and claw diseases, the most important and costliest diseases in milk production, cause symptomatic changes in temperature. Therefore they should be detected by precise temperature measurement with the help of infrared (ir)-thermography. Furthermore with this technique the identification of cows showing fever should be possible.

For this thesis six measurements of different length were realized on three different farms. The investigations were focused on finding influencing factors on measuring surface temperature of cows with ir-thermography and showing relationship between surface temperature and diseases of the udder, the claws and fever. In the end algorithms for identification of diseased cows were developed and evaluated.

As influencing factors on the measurement of surface temperature the ambient temperature, the age and stage of lactation of cows and the daytime of measurement were identified. As factors which can be neglected for measurement in the milking parlor were discovered wind speed, relative humidity, cleanliness of cows and milk yield.

There was no correlation between udder surface temperature and quarter specific electrical conductivity found ( $r < 0.2$ ). Furthermore there was no correlation between udder surface temperature and somatic cell count ( $r < 0.2$ ). But udder quarters with specific mastitis showed significantly different surface temperature than udder quarters with normal secretion ( $p < 0.05$ ). With the help of animal individual algorithms cows with udder diseases could be detected by ir-thermography with sensitivity of 30 to 60% and specificity of 40 to 70%.

Claws with sole ulcers showed significantly higher surface temperature than claws without any disease ( $p < 0.05$ ). Also claws with digital dermatitis or claws with several diseases also showed significantly higher surface temperatures than claws without disease ( $p < 0.05$ ). The identification of cows with claw diseases was possible with sensitivity of 50% and specificity of 70%.

There was no correlation between rectal temperature and surface temperature on the lower leg found ( $r < 0.2$ ). But animals with fever (rectal temperature  $\geq 39.5^{\circ}\text{C}$ ) could be identified by ir-thermography with sensitivity of 40 to 50% and specificity of 50%.

By ir-thermography the detection of cows with udder or claw diseases as well the identification of cows with fever is possible with the help of animal individual algorithms. The sensitivity and specificity of this technique is not satisfying at the moment. But if with further investigation the detection rate can be improved the application of ir-thermography in cow health monitoring is probable.

## 8 Literaturverzeichnis

Ahnert, S.; Richter, M. (2007): Frühdiagnostik von Erkrankungen bei Milchkühen mit Hilfe von Infrarotthermographie. Diplomarbeit, Fachbereich Landbau/Landespflege der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH)

Alsaad, M.; Büscher, W. (2011): Untersuchungen zur Erkennung von Lahmheiten bei Milchkühen durch automatische Erfassung der Bewegungsaktivität und des Liegeverhaltens. Proceedings KTBL-Tagung Bau, Technik, Umwelt 2011, Kiel, S. 372-378

Araki, C.T.; Nakamura, R.M.; Kam, L.W.G.; Clarke, N. (1984): Effect of Lactation on Diurnal Temperature Patterns of Dairy Cattle in Hot Environments. Journal of Dairy Science 67, S. 1752-1760

Araki, C.T.; Nakamura, R.M.; Kam, L.W.G. (1987): Diurnal Temperature Sensitivity of Dairy Cattle in a Naturally Cycling Environment. J. therm. Biol. 12; S. 23-26

Barth, K. (2000): Basic investigations to evaluate a highly sensitive infraredthermograph-technique to detect udder inflammation in cows. Milchwissenschaft 55, S. 607-609

Barth, K. (2001): Untersuchungen zur Nutzung der Infrarot-Thermographie zur Eutergesundheitskontrolle bei Milchkühen. Proceedings Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, S. 224-229

Baumann, M.; Berz, R.; von der Wense, A. (2006): Diagnose mit Infrarot-Ortung. Vet. Journal 5, S. 32-38

Beakley, W.R.; Findlay, J.D. (1955a): The Effect of Environmental Temperature and Humidity on the Ear Temperatures of Ayrshire Calves. J. agric. Sci. 45, 373-379

Beakley, W.R.; Findlay, J.D. (1955b): The Effect of Environmental Temperature and Humidity on the Skin Temperature of Ayrshire Calves. J. agric. Sci. 45, 353-364

Berry, R.J.; Kennedy, A.D.; Scott, S.L.; Kyle, B.L.; Schaefer, A.L. (2003): Daily variation in udder surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography: Potential for mastitis detection. Canadian Journal of Animal Science 83, S.687-693

Bitman, J.; Lefcourt, A.; Wood, D.L.; Stroud, B. (1984): Circadian and Ultradian Temperature Rhythms of Lactating Dairy Cows, J. Dairy Sci. 67:1014-1023

Brandt, M.; Häußermann, A.; Knappstein, A.; Hartung, E. (2011): Beurteilung aktueller Sensortechnik für die Erkennung von klinischen und subklinischen Mastitiden auf Betrieben mit automatischem Melksystem. Proceedings KTBL-Tagung Bau, Technik, Umwelt 2011, Kiel, S. 111-118

Bundesamt für Strahlenschutz (2009): Grundlagen der Infrarot-Strahlung. <http://www.bfs.de/de/uv/ir/grundlagen.html> [letzter Zugriff am 27.11.2011]

Burfeind, O.; Heuwieser, W. (2012): Temperaturmessen zur Vorhersage der Abkalbung. Milchpraxis 01/2012, S. 6

Buron, C. (2005): Das Pferd als Wärmebild. Pegasus, Seite 64-67

Colak, A.; Polat, B.; Okumus, Z.; Kaya, M.; Yanmaz, L. E.; Hayirli, A. (2008): Short Communication: Early Detection of Mastitis Using Infrared Thermography in Dairy Cows, J. Dairy Sci. 91, S. 4244-4248

DeLaval (2011): Zellzahlmessgerät DCC. <http://www.delaval.co.at/Products/Hygiene-and-Cleaning/Cell-counter-DCC/DCC/default.htm> [letzter Zugriff am 17.06.2011]

Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (2007): 2. DLG-Report Klauengesundheit. DLG-Verlags-GmbH

Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft (2008): Empfehlungen zur Probengewinnung für die bakteriologische Diagnostik bei Schweinen, Rindern und Geflügel. Deutsches Tierärzteblatt 5/2008, S. 596-609

Egger, G. (2005): Die akute Entzündung. Springer-Verlag Wien New York, 2005

Faye, B.; Barnouin, J. (1985): Objectivation de la propreté des vaches laitière et des stabulations à l'indice de propreté. Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, INRA, 59, 61-67

Freick, M. (2009): persönliche Mitteilung. Tierarzt der AGRO-Agrarprodukte GmbH Methau

Geidel, S.: Precision Dairy Farming - Melken und Eutergesundheit. KTBL-Tagung Precision Dairy Farming, Leipzig, 2007, Vortrag

Glas, A. (2008): Vergleichende Untersuchung klinisch gesunder und mit Escherichia coli infizierter Euterviertel von Kühen mittels Infrarotthermographie. Dissertation, Tierärztliche Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München

Gruner, K. (2003): Grundlagen der berührungslosen Temperaturmessung „Strahlungsthermometrie“. Broschüre der Firma Raytek, <http://www.klemmt.de/pdf/files/01/15000.pdf> [letzter Zugriff am 22.03.2012]

Gottwald, W.; Wachter, H. (1997): IR-Spektroskopie für Anwender. Wiley-Vch Verlag GmbH, Weinheim

Gschöderer, C.; Ossovsky; Grupp; Schmidt, E. (2006): Präventive Klauenpflege unter Einsatz der Thermographie. Fleckvieh Welt Heft 1/2006, S.4-9

Hamann, J.; Fehlings, K. (2002): Leitlinien zur Bekämpfung der Mastitis des Rindes als Bestandsproblem. Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e.V., 4. Aufl., Verlag der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft e.V., Gießen

Hensel, H. (1967): Temperaturregulation. In: Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie. Herausgegeben von W. D. Keidel, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, S. 214-226

Hilsberg, S. (2000): Aspekte zur klinischen Anwendung der Infrarot-Thermographie in der Zoo- und Wildtiermedizin. Dissertation, Veterinärmedizinische Fakultät der Universität Leipzig

Hovinen, M.; Siivonen, J.; Taponen, S.; Hänninen, L.; Pastell, M.; Aisla, A.-M.; Pyörälä, S. (2008): Detection of Clinical Mastitis with the Help of a Thermal Camera. J. Dairy Sci. 91, S. 4592-4598

Hurnik, J. F.; Webster, A. B.; DeBoer, S. (1985): An Investigation of Skin Temperature Differentials in Relation to Estrus in Dairy Cattle Using a Thermal Infrared Scanning Technique. J Anim Sci 1985. 61, S. 1095-1102

Kindler, A. (2010): Definition von Verhaltensmerkmalen im Kontext der Futteraufnahme. Symposium: Sensorbasiertes Tiermonitoring für die Gestaltung wirtschaftlicher sowie tier- und umweltgerechter Verfahren der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, Humboldt-Universität zu Berlin, 08.-09.07.2010, Vortrag

Knizkova, I.; Kunc, P.; Gürdil, G.A.K.; Pinar, Y.; Selvi, K.C., (2007): Applications of Infrared Thermography in Animal Production. J. of Fac. of Agric., OMU 22(3), S. 329-336

Kreher, M. (2001): persönliche Mitteilung. Tierärztliche Gemeinschaftspraxis Dr. G. Kreher, Dr. E. Stamnitz, Dr. M. Kreher

Lefcourt, A.M.; Huntington, J.B.; Akers, R.M.; Wood, D.L.; Bitman, J. (1999): Circadian and Ultradian Rhythms of Body Temperature and Peripheral Concentrations of Insulin and Nitrogen in Lactating Dairy Cows. Domestic Endocrinology 16, S. 41-55

Loeffler, K. (2002): Anatomie und Physiologie der Haustiere. 10. Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 2001

Lyhs, L. (1971): Der Wärmehaushalt landwirtschaftlicher Nutztiere, VEB Gustav Fischer Verlag Jena, 1971

Mahlkow-Nerge, K.; Tischer, M.; Zieger, P. (2005): Modernes Fruchtbarkeitsmanagement beim Rind. Agro-Concept GmbH, 2005

Mortola, J.; Lanthier, C. (2004): Scaling the Amplitudes of the Circadian Pattern of Resting Oxygen, Body Temperatur and Heart Rate in Mammals. Comparative Biochemistry and Physiology Part A 139; S. 83-95



Müller, W.; Frings, S. (2007): Tier- und Humanphysiologie. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 3. Auflage, 2007

Nikkhah, A.; Plaizier, J.C.; Einarson, M.S.; Berry, R.J.; Scott, S.L.; Kennedy, A.D. (2004): Infrared Thermography for the Early Detection of Laminitis in Dairy Cows. Canadian Journal of Animal Science 84, S. 760–761

Nikkhah, A.; Plaizier, J.C.; Einarson, M.S.; Berry, R.J.; Scott, S.L.; Kennedy, A.D. (2005): Short Communication: Infrared Thermography and Visual Examination of Hooves of Dairy Cows in Two Stages of Lactation. J. Dairy Sci. 88, S. 2749–2753

Pastell, M.; Tiusanen, J.; Hakojärvi, M.; Hänninen, L. (2009): A Wireless Accelerometer System with Wavelet Analysis for Assessing Lameness in Cattle. Biosystems Engineering 104, S. 545-551

Patterson, H.D.; Thompson, R. (1971), Recovery of inter-block information when block sizes are unequal, Biometrika, 58, 545-554

Penzlin, H. (2005): Lehrbuch der Tierphysiologie. Elsevier GmbH, München, 7. Auflage, 2005

Piccione, G.; Caola, G.; Refinetti, R. (2003): Daily and Estrous Rhythmicity of Body Temperature in Domestic Cattle. BMC Physiology 3:7; <http://www.biomedcentral.com/1472-6793/3/7>; letzter Zugriff am 21.01.2009

Poursaberi, A.; Bahr, C.; Pluk, A.; Van Nuffel, A.; Berckmans, D. (2010): Real-time Automatic Lameness Detection based on Back Posture Extraction in dairy Cattle: Shape Analysis of Cow with Image Processing Techniques. Computers and Electronics in Agriculture 74, S. 110-119

Rainwater-Lovett, K.; Pacheco, J.M.; Packer, C.; Rodriguez, L.L. (2008): Detection of Foot-and-Mouth Disease Virus Infected Cattle using Infrared Thermography. The Veterinary Journal (2008).doi:10.1016/j.tvjl.2008.01.003

Rößner, S. (2005): Untersuchung zur Thermoregulation von Milchkühen. Diplomarbeit, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

Sächsischer Landeskontrollverband (2011): Jahresbericht 2011. [http://www.lkvsachsen.de/fileadmin/lkv/redaktion/download/administratives/verband/LKV\\_Jahresbericht\\_2011.pdf](http://www.lkvsachsen.de/fileadmin/lkv/redaktion/download/administratives/verband/LKV_Jahresbericht_2011.pdf) [letzter Zugriff am 03.02.2012]

Sander, L.(2010): Beobachtung der Körpertemperatur von Milchkühen über den Laktationsverlauf. Diplomarbeit, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

SAS Institute Inc. (2008), SAS/STAT User's Guide. Version 9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC.

Schaefer, A. L.; Scott, S. L.; Lacasse, P.; Tong, A. K. W. (2004): Early Detection of Inflammation and Infection using Infrared Thermography. United States Patent Application: 0040019269. Adresse: <http://www.patentstorm.us/patents/7277744/fulltext.html>, letzter Zugriff am 19.11.2008

Scheunert, A.; Trautmann, A. (1987): Lehrbuch der Veterinär-Physiologie. 6. Auflage, Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg, 1987

Schroth, A. (2009): Diagnostische Eignung der elektrischen Leitfähigkeit sowie der Milchtemperatur in Bezug zur Eutergesundheit. Diplomarbeit, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

Searle, S.R. (1971): Linear Models. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Sprecher, D.J.; Hostetler, D.E.; Kaneene, J.B.(1997). A lameness scoring system that uses posture and gait to predict dairy cattle reproductive performance. Theriogenology 47, S. 1178-1187.

Verwoerd, W.; Wellby, M.; Barrell, G. (2006): Absence of a Causal Relationship between Environmental and Body Temperature in Dairy Cows (*Bos taurus*) under Moderate Climatic Conditions. Journal of Thermal Biology 31, S. 533-540

von Engelhardt, W.; Breves, G. (2000): Physiologie der Haustiere. Enke im Hippokrates Verlag GmbH, Stuttgart, 2000

Whittow, G.C. (1962): The Significance of the Extremities of the Ox (*Bos taurus*) in Thermoregulation. J. agric. Sci. 58, 109-120

Wiedemann, M. (2004): Überwachung der Eutergesundheit bei Milchkühen durch Kombination verschiedener chemisch-physikalischer Messwerte. Dissertation, Technische Universität München, Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt

Wilhelm, K. (2010) Die subklinische Klauenrehe beim Milchrind – thermographische Untersuchungen der Klaue und Beziehungen zum Energiestoffwechsel. Dissertation, Veterinärmedizinische Fakultät der Universität Leipzig

Willits, S. (2005): Infrared Thermography for Screening and Early Detection of Mastitis Infections in Working Dairy Herds. <http://www.flirthermography.com/media/2005-035%20Willits.pdf>, letzter Zugriff am 05.02.2009

Winckler, C.; Willen, S. (2001): The Reliability and Repeatability of a Lameness Scoring System for Use as an Indicator of Welfare in Dairy Cattle. Acta Agriculturae Scandinavica, Section A - Animal Science 51, S. 103-107

Wirthgen, T. (2009): persönliche Mitteilung. Fraunhofer Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme, Dresden

Wirthgen, T.; Zipser, S.; Geidel, S.; Franze, U. (2011a): Precise IR-Based Temperature Measuring - a Case Study for the Automatic Health. Monitoring of Dairy Cows, SENSOR+TEST 2011 – IRS<sup>2</sup>, Short Proceedings S. 237, 2011

Wirthgen, T.; Zipser, S.; Franze, U.; Geidel, S.; Dietel, F. Alary, T. (2011b): Automatic Segmentation of Veterinary Infrared Images with the Active Shape Approach, in: A. Heyden und F. Kahl (Hrsg.): Image Analysis, Springer Verlag, ISBN: 978-3-642-21226-0, S. 435–446, 2011.

Wrenn, T.R.; Bitman, J.; Sykes, J.F. (1958): Body Temperature Variations in Dairy Cattle during the Estrous Cycle and Pregnancy. *Journal of Dairy Science* 41, S. 1071-1076

Wrenn, T.R.; Bitman, J.; Sykes, J.F. (1961): Diurnal Patterns of Bovine Body Temperature. *Journal of Dairy Science* 44, S. 2077-2080

Xiangyu, S.; Leroy, T.; Vranken, E.; Maertens, W.; Sonck, B.; Berckmans, D. (2008): Automatic Detection of Lameness in Dairy Cattle – Vision-based Trackway Analysis in Cow's Locomotion. *Computers and Electronics in Agriculture* 64, S. 39-44

## **Danksagung**

Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen bedanken, die mir während der langen Zeit bis zur Entstehung dieser Arbeit zur Seite standen.

Im Besonderen gilt mein aufrichtiger Dank Frau Prof. Dr. agr. Steffi Geidel für die Idee sowie die stetige fachliche und persönliche Unterstützung bei dieser Arbeit. Damit verbunden danke ich auch den Mitstreitern aus dem Forschungsprojekt „VIONA“, ohne die die Umsetzung dieses ehrgeizigen Projektes nicht möglich gewesen wäre.

Darüber hinaus danke ich auch meinem Betreuer Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. Otto Kaufmann für die fachliche Unterstützung und konstruktive Kritik.

Des Weiteren möchte ich mich auch bei Frau Dr. agr. Katja Graff für ihre Unterstützung während der gesamten Zeit bedanken.

Ich danke auch denjenigen, die mich bei der Korrektur der Arbeit unterstützten. Dank gebührt letztlich meiner Familie und meinem Ehemann, die mich mit viel Verständnis bei Fertigstellung der Arbeit unterstützten.

## Anhang

**Tabelle A 1: Korrekturfaktoren**

Betrieb	Messreihe	Körperregion	Korrekturfaktoren	IR-TempMW	IR-TempMax	IR-TempMax2	IR-TempMax5
1	1	Euter	m	0,214	0,159	0,170	0,177
			n	29,128	31,575	31,016	30,706
		Schenkelfläche	m	0,3628	0,275	0,288	0,298
			n	23,830	27,482	26,882	26,486
		Klauen	m	0,389	0,296	0,305	0,316
			n	21,540	25,703	25,243	24,792
	3	Euter	m	0,196	0,150	-	0,165
			n	29,472	31,720	-	30,917
		Schenkelfläche	m	0,344	0,247	-	0,267
			n	23,690	27,513	-	26,483
3	5	Euter	m	0,187	0,140	0,147	0,152
			n	27,067	29,925	29,419	29,088
		Schenkelfläche	m	0,351	0,270	0,292	0,302
			n	19,266	23,211	22,271	21,802
	6	Klauen	m	0,596	0,471	0,489	0,507
			n	11,545	17,207	16,528	15,845

**Tabelle A 2: Mittelwerte der korrigierten IR-Kenngrößen an Eutern und Klauen in Abhängigkeit von der Verschmutzung**

Verschmutzung	Euter			Klauen		
	IR-TempMW_korr					
	N	MW in K	SE in K	N	MW in K	SE in K
1	1655	0,16	0,02	5	0,40	0,38
2	2912	0,11	0,01	1425	0,17	0,05
3	1740	0,00	0,02	4264	0,21	0,03
4	425	-0,11	0,04	748	0,27	0,06
Verschmutzung	IR-TempMax_korr					
	N	MW in K	SE in K	N	MW in K	SE in K
1	1655	0,11	0,02	5	-0,08	0,33
2	2912	0,08	0,01	1425	0,03	0,05
3	1740	-0,01	0,02	4264	0,15	0,03
4	425	0,03	0,03	748	0,34	0,05
Verschmutzung	IR-TempMax2_korr					
	N	MW in K	SE in K	N	MW in K	SE in K
1	1655	0,07	0,02	5	0,08	0,32
2	2912	0,07	0,01	1425	0,07	0,05
3	1740	0,03	0,02	4264	0,16	0,03
4	425	0,11	0,03	748	0,32	0,05
Verschmutzung	IR-TempMax5_korr					
	N	MW in K	SE in K	N	MW in K	SE in K
1	1655	0,14	0,02	5	0,15	0,28
2	2912	0,08	0,01	1425	0,08	0,05
3	1740	-0,01	0,02	4264	0,17	0,03
4	425	0,00	0,03	748	0,31	0,05

**Tabelle A 3: Prüfung der Mittelwertdifferenzen der Oberflächentemperatur an den Eutern in Abhängigkeit von der Verschmutzung auf Signifikanz\***

IR-TempMW_korr					
	ANOVA	p=0,000			
	(Mittelwert in K)	4	3	2	1
4	-0,11	----	0,097	0,093	0,097
3	0,00	ja	----	0,054	0,061
2	0,11	ja	ja	----	0,055
1	0,16	ja	ja	nein	---
IR-TempMax_korr					
	ANOVA	p=0,000			
	(Mittelwert in K)	3	4	2	1
3	-0,01	----	0,090	0,050	0,057
4	0,03	nein	----	0,086	0,091
2	0,08	ja	nein	----	0,051
1	0,11	ja	nein	nein	----
IR-TempMax2_korr					
	ANOVA	p=0,062			
	(Mittelwert in K)	3	2	1	4
3	0,03	----	0,052	0,059	0,092
2	0,07	nein	----	0,052	0,089
1	0,07	nein	nein	----	0,093
4	0,11	nein	nein	nein	----
IR-TempMax5_korr					
	ANOVA	p=0,000			
	(Mittelwert in K)	3	4	2	1
3	-0,01	----	0,090	0,050	0,057
4	0,00	nein	----	0,086	0,090
2	0,08	ja	nein	----	0,051
1	0,14	ja	ja	ja	----

\* dargestellt sind unter dem Ergebnis der ANOVA die kritischen Mittelwert-Differenzen zwischen Gruppenpaaren der Verschmutzungsnoten (rechts oben) und die Signifikanzwertung  $p < 0,05$  nach Bonferroni (links unten)/ 1=keine Verschmutzung; 2=wenig Verschmutzung; 3=Verschmutzung; 4=starke Verschmutzung



**Tabelle A 4: Prüfung der Mittelwertdifferenzen der Oberflächentemperatur an den Klauen in Abhängigkeit von der Verschmutzung auf Signifikanz\***

IR-TempMW_korr					
	ANOVA	p=0,691			
	(Mittelwert in K)	2	3	4	1
2	0,17	----	0,152	0,225	2,230
3	0,21	nein	----	0,197	2,228
4	0,27	nein	nein	----	2,234
1	0,40	nein	nein	nein	----
IR-TempMax_korr					
	ANOVA	p=0,001			
	(Mittelwert in K)	1	2	3	4
1	-0,08	----	1,982	1,980	1,985
2	0,03	nein	----	0,135	0,200
3	0,15	nein	nein	----	0,175
4	0,34	nein	ja	ja	----
IR-TempMax2_korr					
	ANOVA	p=0,012			
	(Mittelwert in K)	2	1	3	4
2	0,07	----	1,976	0,135	0,199
1	0,08	nein	----	1,974	1,979
3	0,16	nein	nein	----	0,175
4	0,32	ja	nein	nein	----
IR-TempMax5_korr					
	ANOVA	p=0,032			
	(Mittelwert in K)	2	1	3	4
2	0,08	----	1,487	0,102	0,150
1	0,15	nein	----	1,485	1,489
3	0,17	nein	nein	----	0,132
4	0,31	ja	nein	ja	----

\* dargestellt sind unter dem Ergebnis der ANOVA die kritischen Mittelwert-Differenzen zwischen Gruppenpaaren der Verschmutzungsnoten (rechts oben) und die Signifikanzwertung  $p < 0,05$  nach Bonferroni (links unten)/ 1=keine Verschmutzung; 2=wenig Verschmutzung; 3=Verschmutzung; 4=starke Verschmutzung

**Tabelle A 5: Relative Häufigkeit (% der Beobachtungen) der Verschmutzungsnote für die Einzeltiere**

Kuh	Verschmutzungsnote				Kuh	Verschmutzungsnote			
	1	2	3	4		1	2	3	4
9	49%	33%	13%	5%	432	60%	40%	0%	0%
16	17%	63%	17%	4%	437	96%	4%	0%	0%
32	4%	48%	48%	0%	442	13%	57%	30%	0%
45	0%	9%	59%	32%	450	60%	32%	8%	0%
61	4%	39%	35%	22%	457	0%	8%	84%	8%
80	4%	54%	42%	0%	462	13%	65%	22%	0%
81	33%	38%	29%	0%	469	88%	13%	0%	0%
99	0%	53%	47%	0%	472	60%	40%	0%	0%
104	14%	45%	27%	14%	475	17%	67%	17%	0%
115	46%	42%	13%	0%	479	0%	35%	59%	6%
117	44%	50%	6%	0%	487	0%	10%	50%	40%
124	4%	60%	32%	4%	496	48%	44%	8%	0%
129	13%	88%	0%	0%	499	0%	75%	25%	0%
159	26%	65%	9%	0%	511	4%	64%	32%	0%
185	5%	52%	43%	0%	512	32%	64%	4%	0%
191	84%	16%	0%	0%	517	9%	78%	13%	0%
210	10%	52%	38%	0%	525	76%	20%	4%	0%
231	25%	50%	25%	0%	546	0%	13%	48%	39%
234	42%	50%	8%	0%	549	36%	40%	24%	0%
237	0%	23%	55%	23%	572	14%	50%	36%	0%
245	20%	64%	16%	0%	579	0%	50%	50%	0%
250	4%	13%	57%	26%	585	30%	45%	25%	0%
253	10%	43%	43%	5%	601	9%	52%	39%	0%
261	0%	48%	43%	9%	602	24%	48%	28%	0%
264	68%	28%	4%	0%	612	32%	60%	8%	0%
276	48%	40%	12%	0%	615	4%	39%	48%	9%
313	59%	36%	5%	0%	617	29%	58%	13%	0%
330	0%	48%	52%	0%	632	0%	44%	48%	8%
333	39%	61%	0%	0%	648	0%	5%	80%	15%
339	0%	17%	78%	4%	653	33%	46%	21%	0%
352	0%	43%	57%	0%	680	33%	67%	0%	0%
355	48%	52%	0%	0%	702	22%	57%	22%	0%
358	13%	0%	63%	25%	720	71%	21%	9%	0%
361	33%	63%	4%	0%	732	46%	46%	8%	0%
364	74%	26%	0%	0%	733	0%	25%	25%	50%
365	0%	60%	33%	7%	735	0%	45%	50%	5%
377	24%	40%	32%	4%	739	33%	43%	24%	0%
378	44%	44%	12%	0%	741	45%	45%	9%	0%
384	9%	50%	32%	9%	778	52%	44%	4%	0%
385	10%	55%	35%	0%	779	0%	10%	50%	40%
392	43%	52%	5%	0%	788	45%	55%	0%	0%
406	48%	48%	4%	0%	808	4%	71%	25%	0%
412	21%	29%	43%	7%	812	46%	54%	0%	0%

Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Kuh	Verschmutzungsnote					Kuh	Verschmutzungsnote			
	1	2	3	4			1	2	3	4
415	33%	38%	24%	5%		1278	16%	51%	33%	0%
427	60%	40%	0%	0%		1281	0%	33%	67%	0%
823	4%	30%	43%	22%		814	50%	50%	0%	0%
833	0%	5%	9%	86%		822	29%	43%	29%	0%
840	5%	67%	29%	0%		1306	16%	64%	20%	0%
847	57%	39%	4%	0%		1313	22%	43%	35%	0%
850	52%	48%	0%	0%		1323	0%	24%	48%	29%
885	17%	39%	43%	0%		1325	41%	53%	6%	0%
921	5%	47%	42%	5%		1328	74%	21%	4%	0%
944	0%	39%	39%	22%		1348	21%	57%	21%	0%
971	53%	47%	0%	0%		1357	5%	40%	45%	10%
977	8%	48%	44%	0%		1360	100%	0%	0%	0%
978	33%	62%	5%	0%		1382	0%	0%	0%	100%
995	56%	40%	4%	0%		1408	0%	38%	57%	5%
1008	44%	56%	0%	0%		1431	0%	23%	50%	27%
1015	42%	42%	17%	0%		1439	4%	27%	60%	9%
1026	0%	45%	45%	9%		1441	4%	57%	39%	0%
1031	24%	36%	40%	0%		1446	0%	25%	75%	0%
1032	14%	55%	32%	0%		1466	13%	43%	39%	4%
1034	60%	40%	0%	0%		1468	33%	33%	33%	0%
1037	11%	58%	26%	5%		1489	0%	48%	52%	0%
1047	21%	58%	21%	0%		1500	7%	14%	43%	36%
1071	42%	54%	4%	0%		1508	0%	0%	76%	24%
1074	32%	60%	8%	0%		1514	5%	18%	41%	36%
1078	32%	56%	12%	0%		1836	13%	63%	13%	13%
1088	14%	36%	45%	5%		1887	0%	25%	33%	42%
1099	7%	16%	56%	22%		1933	53%	47%	0%	0%
1103	0%	8%	69%	23%		1954	0%	14%	71%	14%
1120	50%	50%	0%	0%						
1136	10%	50%	40%	0%						
1148	5%	82%	14%	0%						
1149	40%	52%	8%	0%						
1155	35%	61%	4%	0%						
1164	25%	50%	25%	0%						
1174	32%	60%	8%	0%						
1175	29%	63%	8%	0%						
1194	36%	36%	18%	9%						
1201	14%	33%	43%	10%						
1202	8%	29%	55%	8%						
1206	0%	4%	70%	26%						
1210	24%	76%	0%	0%						
1213	0%	48%	36%	16%						
1234	0%	90%	10%	0%						
1243	0%	17%	39%	43%						
1274	19%	38%	43%	0%						
1277	0%	25%	63%	13%						

**Tabelle A 6: Prüfung der Mittelwertdifferenzen der Oberflächentemperatur an den Eutern in Abhängigkeit von der Tageszeit auf Signifikanz\***

IR-TempMW_korr					
	ANOVA p=0,000				
Zeit	(Mittelwert in K)	2	1	3	4
2	-0,09	----	0,057	0,058	0,057
1	-0,08	nein	----	0,060	0,059
3	0,08	ja	ja	----	0,060
4	0,11	ja	ja	nein	----
IR-TempMax_korr					
	ANOVA p=0,000				
Zeit	(Mittelwert in K)	2	1	3	4
2	-0,09	----	0,051	0,053	0,052
1	-0,07	nein	----	0,054	0,054
3	0,08	ja	ja	----	0,055
4	0,11	ja	ja	nein	----
IR-TempMax2_korr					
	ANOVA p=0,000				
Zeit	(Mittelwert in K)	2	4	1	3
2	-0,22	----	0,053	0,052	0,053
4	-0,02	ja	----	0,054	0,055
1	0,09	ja	ja	----	0,055
3	0,19	ja	ja	ja	----
IR-TempMax5_korr					
	ANOVA p=0,000				
Zeit	(Mittelwert in K)	2	1	3	4
2	-0,10	----	0,052	0,053	0,053
1	-0,07	nein	----	0,055	0,054
3	0,08	ja	ja	----	0,055
4	0,11	ja	ja	nein	----

\* dargestellt sind unter dem Ergebnis der ANOVA die kritischen Mittelwert-Differenzen zwischen Gruppenpaaren der Tageszeiten (rechts oben) und die Signifikanzwertung  $p < 0,05$  nach Bonferroni (links unten) / 1=6:30-7:00 Uhr; 2=10:00-10:30 Uhr; 3=18:30-19:00 Uhr; 4=22:00-22:30 Uhr

**Tabelle A 7: Prüfung der Mittelwertdifferenzen der Oberflächentemperatur an der Schenkelfläche in Abhängigkeit von der Tageszeit auf Signifikanz\***

IR-TempMW_korr					
ANOVA p=0,000					
Zeit	(Mittelwert in K)	2	1	3	4
2	-0,15	----	0,143	0,147	0,145
1	-0,07	nein	----	0,151	0,149
3	0,08	ja	nein	----	0,153
4	0,18	ja	ja	nein	----
IR-TempMax_korr					
ANOVA p=0,000					
Zeit	(Mittelwert in K)	2	1	3	4
2	-0,19	----	0,117	0,120	0,118
1	-0,09	nein	----	0,123	0,122
3	0,10	ja	ja	----	0,125
4	0,23	ja	ja	nein	----
IR-TempMax2_korr					
ANOVA p=0,000					
Zeit	(Mittelwert in K)	2	1	3	4
2	-0,23	----	0,122	0,125	0,124
1	-0,04	ja	----	0,129	0,127
3	0,14	ja	ja	----	0,131
4	0,18	ja	ja	nein	----
IR-TempMax5_korr					
ANOVA p=0,000					
Zeit	(Mittelwert in K)	2	1	3	4
2	-0,18	----	0,126	0,129	0,128
1	-0,09	nein	----	0,133	0,131
3	0,10	ja	ja	----	0,134
4	0,22	ja	ja	nein	----

\* dargestellt sind unter dem Ergebnis der ANOVA die kritischen Mittelwert-Differenzen zwischen Gruppenpaaren der Tageszeiten (rechts oben) und die Signifikanzwertung  $p < 0,05$  nach Bonferroni (links unten) / 1=6:30-7:00 Uhr; 2=10:00-10:30 Uhr; 3=18:30-19:00 Uhr; 4=22:00-22:30 Uhr

**Tabelle A 8: Prüfung der Mittelwertdifferenzen der Oberflächentemperatur an den Klauen in Abhängigkeit von der Tageszeit auf Signifikanz\***

IR-TempMW_korr					
	ANOVA p=0,000				
Zeit	(Mittelwert in K)	2	1	3	4
2	-0,44	----	0,162	0,167	0,165
1	0,02	ja	----	0,172	0,170
3	0,09	ja	nein	----	0,174
4	0,43	ja	ja	ja	----
IR-TempMax_korr					
	ANOVA p=0,000				
Zeit	(Mittelwert in K)	2	1	3	4
2	-0,46	----	0,146	0,150	0,148
1	0,04	ja	----	0,154	0,152
3	0,16	ja	nein	----	0,157
4	0,36	ja	ja	ja	----
IR-TempMax2_korr					
	ANOVA p=0,000				
Zeit	(Mittelwert in K)	2	1	3	4
2	-0,46	----	0,145	0,150	0,148
1	0,03	ja	----	0,154	0,152
3	0,16	ja	nein	----	0,156
4	0,37	ja	ja	ja	----
IR-TempMax5_korr					
	ANOVA p=0,000				
Zeit	(Mittelwert in K)	2	1	3	4
2	-0,46	----	0,147	0,151	0,150
1	0,02	ja	----	0,156	0,154
3	0,16	ja	nein	----	0,158
4	0,38	ja	ja	ja	----

\* dargestellt sind unter dem Ergebnis der ANOVA die kritischen Mittelwert-Differenzen zwischen Gruppenpaaren der Tageszeiten (rechts oben) und die Signifikanzwertung  $p < 0,05$  nach Bonferroni (links unten)/  
1=6:30-7:00 Uhr; 2=10:00-10:30 Uhr; 3=18:30-19:00 Uhr; 4=22:00-22:30 Uhr

**Tabelle A 9: Mittelwertvergleich der Oberflächentemperatur an den Eutern in Abhängigkeit von der Laktation\***

Betrieb 1														Betrieb 3						
Messreihe 1							Messreihe 3							Messreihe 5						
IR-TempMW in °C																				
ANOVA p=0,000							ANOVA p=0,000							ANOVA p=0,000						
	N	MW	SE	3	2	1		N	MW	SE	3	2	1		N	MW	SE	2	3	1
3	3.322	32,62	0,02	----	0,061	0,055	3	2.448	32,36	0,02	----	0,074	0,059	2	1.610	30,08	0,04	----	0,091	0,139
2	2.086	32,93	0,02	ja	----	0,063	2	2.709	32,78	0,02	ja	----	0,057	3	7.619	30,25	0,01	ja	----	0,119
1	2.978	32,96	0,02	ja	nein	----	1	10.170	33,15	0,01	ja	ja	----	1	863	30,40	0,06	ja	ja	----
IR-TempMW_korr in K																				
ANOVA p=0,000							ANOVA p=0,000							ANOVA p=0,000						
	N	MW	SE	3	1	2		N	MW	SE	3	2	1		N	MW	SE	2	3	1
3	3.322	-0,20	0,01	----	0,042	0,047	3	2.448	-0,40	0,02	----	0,051	0,041	2	1.610	-0,08	0,04	----	0,081	0,125
1	2.086	0,11	0,02	ja	----	0,048	2	2.709	0,02	0,01	ja	----	0,040	3	7.619	-0,02	0,01	nein	----	0,107
2	2.978	0,17	0,01	ja	ja	----	1	10.170	0,09	0,01	ja	ja	----	1	863	0,31	0,05	ja	ja	----
IR-TempMax in °C																				
ANOVA p=0,000							ANOVA p=0,000							ANOVA p=0,000						
	N	MW	SE	3	2	1		N	MW	SE	3	2	1		N	MW	SE	2	3	1
3	3.322	34,20	0,01	----	0,052	0,047	3	2.448	34,06	0,02	----	0,064	0,052	2	1.610	32,17	0,03	----	0,074	0,115
2	2.086	34,37	0,02	ja	----	0,054	2	2.709	34,30	0,02	ja	----	0,050	3	7.619	32,29	0,04	ja	----	0,098
1	2.978	34,43	0,02	ja	nein	----	1	10.170	34,49	0,01	ja	ja	----	1	863	32,54	0,01	ja	ja	----
IR-TempMax_korr in K																				
ANOVA p=0,000							ANOVA p=0,000							ANOVA p=0,000						
	N	MW	SE	3	1	2		N	MW	SE	3	1	2		N	MW	SE	2	3	1
3	3.322	-0,12	0,01	----	0,039	0,043	3	2.448	-0,18	0,02	----	0,040	0,049	2	1.610	-0,07	0,03	----	0,068	0,105
1	2.086	0,08	0,01	ja	----	0,044	1	2.709	0,03	0,01	ja	----	0,038	3	7.619	-0,03	0,04	nein	----	0,089
2	2.978	0,09	0,01	ja	nein	----	2	10.170	0,07	0,01	ja	ja	----	1	863	0,36	0,01	ja	ja	----

Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Betrieb 1														Betrieb 3						
Messreihe 1							Messreihe 3							Messreihe 5						
IR-TempMax2 in °C																				
ANOVA p=0,000							-							ANOVA p=0,000						
	N	MW	SE	3	2	1		N	MW	SE	-	-	-		N	MW	SE	2	3	1
3	3.322	33,78	0,01	----	0,053	0,048	-	-	-	-	-	-	-	2	1.610	31,80	0,03	----	0,074	0,114
2	2.086	34,02	0,02	ja	----	0,054	-	-	-	-	-	-	-	3	7.619	31,90	0,04	ja	----	0,097
1	2.978	34,10	0,02	ja	ja	----	-	-	-	-	-	-	-	1	863	32,26	0,01	ja	ja	----
IR-TempMax2_korr in K																				
ANOVA p=0,000							-							ANOVA p=0,000						
	N	MW	SE	3	2	1		N	MW	SE	-	-	-		N	MW	SE	2	3	1
3	3.322	-0,18	0,01	----	0,044	0,040	-	-	-	-	-	-	-	2	1.610	-0,06	0,03	----	0,067	0,104
2	2.086	0,08	0,01	ja	----	0,045	-	-	-	-	-	-	-	3	7.619	-0,04	0,04	nein	----	0,088
1	2.978	0,15	0,01	ja	ja	----	-	-	-	-	-	-	-	1	863	0,46	0,01	ja	ja	----
IR-TempMax5 in °C																				
ANOVA p=0,000							ANOVA p=0,000							ANOVA p=0,000						
	N	MW	SE	3	2	1		N	MW	SE	3	2	1		N	MW	SE	2	3	1
3	3.322	33,59	0,01	----	0,054	0,049	3	2.448	33,39	0,02	----	0,066	0,053	2	1.610	31,55	0,03	----	0,075	0,115
2	2.086	33,83	0,02	ja	----	0,055	2	2.709	33,72	0,02	ja	----	0,051	3	7.619	31,66	0,04	ja	----	0,098
1	2.978	33,92	0,02	ja	ja	----	1	10.170	34,00	0,01	ja	ja	----	1	863	32,03	0,01	ja	ja	----
IR-TempMax5_korr in K																				
ANOVA p=0,000							ANOVA p=0,000							ANOVA p=0,000						
	N	MW	SE	3	2	1		N	MW	SE	3	2	1		N	MW	SE	2	3	1
3	3.322	-0,18	0,01	----	0,043	0,039	3	2.448	-0,31	0,01	----	0,049	0,039	2	1.610	-0,07	0,03	----	0,068	0,104
2	2.086	0,11	0,01	ja	----	0,044	2	2.709	0,03	0,01	ja	----	0,038	3	7.619	-0,04	0,04	nein	----	0,088
1	2.978	0,13	0,01	ja	nein	----	1	10.170	0,06	0,01	ja	nein	----	1	863	0,48	0,01	ja	ja	----

\* dargestellt sind unter dem Ergebnis der ANOVA die kritischen Mittelwert-Differenzen zwischen Gruppenpaaren der Laktationsnummern (rechts oben) und die Signifikanzwertung  $p < 0,05$  nach BONFERRONI (links unten)/ 1=1.Laktation; 2=2.Laktation; 3=  $\geq 3$ .Laktation



**Tabelle A 10: Prüfung der Mittelwertdifferenzen der Oberflächentemperatur an der Schenkelfläche in Abhängigkeit von der Laktation auf Signifikanz\***

Betrieb 1														Betrieb 3						
Messreihe 1							Messreihe 3							Messreihe 5						
IR-TempMW in °C																				
ANOVA p=0,504							ANOVA p=0,000							ANOVA p=0,001						
	N	MW	SE	1	3	2		N	MW	SE	2	3	1		N	MW	SE	2	3	1
1	1.502	30,08	0,04	----	0,136	0,155	2	1.355	29,40	0,06	----	0,187	0,145	2	798	25,01	0,08	----	0,216	0,337
3	1.673	30,09	0,04	nein	----	0,151	3	1.224	29,68	0,06	ja	----	0,151	3	409	25,26	0,14	ja	----	0,289
2	1.046	30,15	0,05	nein	nein	----	1	5.086	29,97	0,03	ja	ja	----	1	3.767	25,53	0,04	ja	nein	----
IR-TempMW_korr in K																				
ANOVA p=0,036							ANOVA p=0,000							ANOVA p=0,000						
	N	MW	SE	3	1	2		N	MW	SE	1	2	3		N	MW	SE	2	3	1
3	1.673	-0,04	0,03	----	0,110	0,122	1	5.086	-0,18	0,02	----	0,101	0,105	2	798	-0,09	0,07	----	0,189	0,295
1	1.502	-0,02	0,03	nein	----	0,124	2	1.355	-0,17	0,04	nein	----	0,130	3	409	-0,04	0,12	nein	----	0,252
2	1.046	0,09	0,04	ja	nein	----	3	1.224	0,09	0,04	ja	ja	----	1	3.767	0,55	0,03	ja	ja	----
IR-TempMax in °C																				
ANOVA p=0,027							ANOVA p=0,000							ANOVA p=0,000						
	N	MW	SE	3	2	1		N	MW	SE	2	3	1		N	MW	SE	2	3	1
3	1.673	32,18	0,03	----	0,121	0,109	2	1.355	31,65	0,04	----	0,141	0,109	2	798	27,59	0,07	----	0,176	0,275
2	1.046	32,24	0,03	nein	----	0,124	3	1.224	31,82	0,04	ja	----	0,114	3	409	27,78	0,11	ja	----	0,235
1	1.502	32,30	0,04	ja	nein	----	1	5.086	32,00	0,02	ja	ja	----	1	3.767	28,34	0,03	ja	ja	----
IR-TempMax_korr in K																				
ANOVA p=0,001							ANOVA p=0,000							ANOVA p=0,000						
	N	MW	SE	3	2	1		N	MW	SE	1	2	3		N	MW	SE	2	3	1
3	1.673	-0,07	0,03	----	0,100	0,090	1	5.086	-0,15	0,01	----	0,080	0,083	2	798	-0,10	0,05	----	0,156	0,244
2	1.046	0,04	0,03	ja	----	0,102	2	1.355	-0,07	0,03	ja	----	0,103	3	409	-0,06	0,09	nein	----	0,209
1	1.502	0,06	0,03	ja	nein	----	3	1.224	0,08	0,03	ja	ja	----	1	3.767	0,74	0,03	ja	ja	----

Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Betrieb 1														Betrieb 2						
Messreihe 1							Messreihe 3							Messreihe 5						
IR-TempMax2 in °C																				
ANOVA p=0,007							-							ANOVA p=0,000						
	N	MW	SE	3	2	1		N	MW	SE	-	-	-		N	MW	SE	2	3	1
3	1.673	31,79	0,03	----	0,127	0,114	-	-	-	-	-	-	-	2	798	27,01	0,07	----	0,188	0,293
2	1.046	31,86	0,03	nein	----	0,129	-	-	-	-	-	-	-	3	409	27,23	0,12	ja	----	0,251
1	1.502	31,94	0,04	ja	nein	----	-	-	-	-	-	-	-	1	3.767	27,71	0,03	ja	ja	----
IR-TempMax2_korr in K																				
ANOVA p=0,000							-							ANOVA p=0,000						
	N	MW	SE	3	2	1		N	MW	SE	-	-	-		N	MW	SE	2	3	1
3	1.673	-0,09	0,03	----	0,104	0,094	-	-	-	-	-	-	-	2	798	-0,10	0,06	----	0,166	0,260
2	1.046	0,03	0,03	ja	----	0,107	-	-	-	-	-	-	-	3	409	-0,05	0,10	nein	----	0,222
1	1.502	0,08	0,04	ja	nein	----	-	-	-	-	-	-	-	1	3.767	0,69	0,03	ja	ja	----
IR-TempMax5 in °C																				
ANOVA p=0,004							ANOVA p=0,000							ANOVA p=0,000						
	N	MW	SE	3	2	1		N	MW	SE	2	3	1		N	MW	SE	2	3	1
3	1.673	31,56	0,03	----	0,130	0,118	2	1.355	30,92	0,05	----	0,152	0,118	2	798	26,71	0,07	----	0,194	0,302
2	1.046	31,63	0,03	nein	----	0,133	3	1.224	31,14	0,05	ja	----	0,122	3	409	26,94	0,12	ja	----	0,259
1	1.502	31,72	0,04	ja	nein	----	1	5.086	31,34	0,02	ja	ja	----	1	3.767	27,37	0,03	ja	ja	----
IR-TempMax5_korr in K																				
ANOVA p=0,000							ANOVA p=0,000							ANOVA p=0,000						
	N	MW	SE	3	2	1		N	MW	SE	1	2	3		N	MW	SE	2	3	1
3	1.673	-0,09	0,03	----	0,107	0,097	1	5.086	-0,18	0,02	----	0,086	0,090	2	798	-0,11	0,06	----	0,171	0,267
2	1.046	0,03	0,03	ja	----	0,110	2	1.355	-0,14	0,04	nein	----	0,111	3	409	-0,05	0,11	nein	----	0,229
1	1.502	0,08	0,04	ja	nein	----	3	1.224	0,07	0,03	ja	ja	----	1	3.767	0,66	0,03	ja	ja	----

\* dargestellt sind unter dem Ergebnis der ANOVA die kritischen Mittelwert-Differenzen zwischen Gruppenpaaren der Laktationsnummern (rechts oben) und die Signifikanzwertung  $p < 0,05$  nach BONFERRONI (links unten)/ 1=1.Laktation; 2=2.Laktation; 3=  $\geq 3$ .Laktation

**Tabelle A 11: Prüfung der Mittelwertdifferenzen der Oberflächentemperatur an den Klauen der Messreihe 6 in Abhängigkeit von der Laktation auf Signifikanz\***

Betrieb 3						
Messreihe 6						
IR-TempMW in °C						
ANOVA p=0,000						
	N	MW	SE	3	2	1
3	17.404	22,03	0,03	----	0,175	0,205
2	3.488	22,31	0,07	ja	----	0,250
1	2.428	24,48	0,08	ja	ja	----
IR-TempMW_korr in K						
ANOVA p=0,000						
	N	MW	SE	3	2	1
3	17.404	-0,25	0,03	----	0,158	0,184
2	3.488	0,00	0,06	ja	----	0,225
1	2.428	2,30	0,07	ja	ja	----
IR-TempMax in °C						
ANOVA p=0,000						
	N	MW	SE	3	2	1
3	17.404	25,51	0,03	----	0,161	0,187
2	3.488	25,70	0,06	ja	----	0,229
1	2.428	27,35	0,07	ja	ja	----
IR-TempMax_korr in K						
ANOVA p=0,000						
	N	MW	SE	3	2	1
3	17.404	-0,18	0,03	----	0,149	0,174
2	3.488	-0,01	0,06	ja	----	0,212
1	2.428	1,73	0,07	ja	ja	----
IR-TempMax2 in °C						
ANOVA p=0,000						
	N	MW	SE	3	2	1
3	17.404	25,14	0,03	----	0,162	0,189
2	3.488	25,35	0,06	ja	----	0,231
1	2.428	27,05	0,07	ja	ja	----
IR-TempMax2_korr in K						
ANOVA p=0,000						
	N	MW	SE	3	2	1
3	17.404	-0,19	0,03	----	0,149	0,175
2	3.488	0,00	0,06	ja	----	0,213
1	2.428	1,80	0,07	ja	ja	----

Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Betrieb 3						
Messreihe 6						
IR-TempMax5 in °C						
ANOVA p=0,000						
	N	MW	SE	3	2	1
3	17.404	24,78	0,03	----	0,164	0,191
2	3.488	25,01	0,07	ja	----	0,233
1	2.428	26,76	0,07	ja	ja	----
IR-TempMax5_korr in K						
ANOVA p=0,000						
	N	MW	SE	3	2	1
3	17.404	-0,20	0,03	----	0,151	0,176
2	3.488	0,01	0,06	ja	----	0,214
1	2.428	1,87	0,07	ja	ja	----

\* dargestellt sind unter dem Ergebnis der ANOVA die kritischen Mittelwert-Differenzen zwischen Gruppenpaaren der Laktationsnummern (rechts oben) und die Signifikanzwertung  $p < 0,05$  nach BONFERRONI (links unten)/ 1=1.Laktation; 2=2.Laktation; 3= $\geq$ 3.Laktation

**Tabelle A 12: Prüfung der Mittelwertdifferenzen der Oberflächentemperatur an den Eutern in Abhängigkeit vom Laktationstag auf Signifikanz\***

Betrieb 1																Betrieb 3								
Messreihe 1									Messreihe 3							Messreihe 5								
IR-TempMW in °C																								
ANOVA p=0,000									ANOVA p=0,000									ANOVA p=0,000						
	N	MW	SE	5	4	3	2	1		N	MW	SE	1	2	3		N	MW	SE	5	4	3	1	2
5	509	32,46	0,04	----	0,123	0,131	0,120	0,188	1	6.446	32,60	0,01	----	0,044	0,081	5	437	29,97	0,06	----	0,208	0,194	0,195	0,21
4	2.487	32,63	0,02	ja	----	0,085	0,066	0,158	2	7.627	33,16	0,01	ja	----	0,080	4	1.464	30,10	0,04	nein	----	0,118	0,121	0,146
3	1.390	32,64	0,02	ja	nein	----	0,080	0,165	3	1.252	33,58	0,03	ja	ja	----	3	3.615	30,14	0,02	nein	nein	----	0,093	0,124
2	3.714	33,03	0,01	ja	ja	ja	----	0,156	-	-	-	-	-	-	-	1	3.180	30,32	0,03	ja	ja	ja	----	0,126
1	286	33,19	0,05	ja	ja	ja	ja	----	-	-	-	-	-	-	-	2	1.298	30,59	0,03	ja	ja	ja	ja	----
IR-TempMW_korr in K																								
ANOVA p=0,000									ANOVA p=0,000									ANOVA p=0,000						
	N	MW	SE	5	2	4	3	1		N	MW	SE	3	1	2		N	MW	SE	5	4	3	1	2
5	509	-0,19	0,03	----	0,095	0,098	0,105	0,149	3	1.252	-0,16	0,02	----	0,058	0,057	5	437	-0,28	0,06	----	0,186	0,173	0,174	0,189
2	3.714	-0,01	0,01	ja	----	0,052	0,064	0,124	1	6.446	0,00	0,01	ja	----	0,032	4	1.464	-0,21	0,03	nein	----	0,106	0,108	0,130
4	2.487	0,01	0,02	ja	nein	----	0,068	0,126	2	7.627	0,03	0,01	ja	nein	----	3	3.615	-0,16	0,02	nein	nein	----	0,083	0,110
3	1.390	0,04	0,02	ja	nein	nein	----	0,131	-	-	-	-	-	-	-	1	3.180	0,21	0,02	ja	ja	ja	----	0,112
1	286	0,17	0,04	ja	ja	ja	ja	----	-	-	-	-	-	-	-	2	1.298	0,32	0,03	ja	ja	ja	nein	----
IR-TempMax in °C																								
ANOVA p=0,000									ANOVA p=0,000									ANOVA p=0,000						
	N	MW	SE	5	3	4	2	1		N	MW	SE	1	2	3		N	MW	SE	5	4	3	1	2
5	509	34,00	0,03	----	0,112	0,105	0,102	0,160	1	6.446	34,11	0,01	----	0,038	0,069	5	437	32,08	0,05	----	0,174	0,161	0,162	0,176
3	1.390	34,18	0,02	ja	----	0,072	0,068	0,141	2	7.627	34,54	0,01	ja	----	0,069	4	1.464	32,24	0,03	nein	----	0,099	0,101	0,121
4	2.487	34,19	0,02	ja	nein	----	0,056	0,135	3	1.252	34,94	0,02	ja	ja	----	3	3.615	32,28	0,02	ja	nein	----	0,077	0,103
2	3.714	34,49	0,01	ja	ja	ja	----	0,133	-	-	-	-	-	-	-	1	3.180	32,35	0,02	ja	ja	nein	----	0,105
1	286	34,64	0,04	ja	ja	ja	ja	----	-	-	-	-	-	-	-	2	1.298	32,38	0,03	ja	ja	ja	nein	----
IR-TempMax_korr in K																								
ANOVA p=0,000									ANOVA p=0,008									ANOVA p=0,000						
	N	MW	SE	5	2	4	3	1		N	MW	SE	3	1	2		N	MW	SE	5	4	3	2	1
5	509	-0,19	0,03	----	0,087	0,089	0,095	0,135	3	1.252	-0,05	0,02	----	0,055	0,054	5	437	-0,23	0,05	----	0,159	0,148	0,161	0,149
2	3.714	-0,01	0,01	ja	----	0,048	0,058	0,113	1	6.446	-0,01	0,01	nein	----	0,030	4	1.464	-0,12	0,03	nein	----	0,090	0,111	0,092
4	2.487	0,02	0,01	ja	nein	----	0,061	0,114	2	7.627	0,02	0,01	ja	nein	----	3	3.615	-0,07	0,02	ja	nein	----	0,094	0,071
3	1.390	0,03	0,02	ja	nein	nein	----	0,119	-	-	-	-	-	-	-	2	1.298	0,06	0,02	ja	ja	ja	----	0,096
1	286	0,16	0,04	ja	ja	ja	ja	----	-	-	-	-	-	-	-	1	3.180	0,15	0,02	ja	ja	ja	nein	----

Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Betrieb 1																Betrieb 3								
Messreihe 1									Messreihe 3							Messreihe 5								
									IR-TempMax2 in °C															
ANOVA p=0,000									-							ANOVA p=0,000								
	N	MW	SE	5	4	3	2	1	-	N	MW	SE	-	-	-		N	MW	SE	5	4	3	1	2
5	509	33,58	0,03	----	0,108	0,115	0,105	0,164	-	-	-	-	-	-	-	5	437	31,66	0,05	----	0,173	0,161	0,162	0,176
4	2.487	33,81	0,02	ja	----	0,074	0,057	0,138	-	-	-	-	-	-	-	4	1.464	31,85	0,03	ja	----	0,098	0,100	0,121
3	1.390	33,84	0,02	ja	nein	----	0,070	0,144	-	-	-	-	-	-	-	3	3.615	31,88	0,02	ja	nein	----	0,077	0,103
2	3.714	34,12	0,01	ja	ja	ja	----	0,136	-	-	-	-	-	-	-	1	3.180	31,99	0,02	ja	ja	ja	----	0,105
1	286	34,27	0,05	ja	ja	ja	ja	----	-	-	-	-	-	-	-	2	1.298	32,04	0,03	ja	ja	ja	nein	----
IR-TempMax2_korr in K																								
ANOVA p=0,000									-							ANOVA p=0,000								
	N	MW	SE	5	4	3	2	1	-	N	MW	SE	-	-	-		N	MW	SE	5	4	3	2	1
5	509	-0,37	0,03	----	0,090	0,096	0,087	0,137	-	-	-	-	-	-	-	5	437	-0,26	0,05	----	0,157	0,145	0,159	0,146
4	2.487	-0,11	0,01	ja	----	0,062	0,048	0,115	-	-	-	-	-	-	-	4	1.464	-0,13	0,03	nein	----	0,089	0,109	0,091
3	1.390	-0,07	0,02	ja	nein	----	0,058	0,120	-	-	-	-	-	-	-	3	3.615	-0,09	0,02	ja	nein	----	0,093	0,070
2	3.714	0,13	0,01	ja	ja	ja	----	0,113	-	-	-	-	-	-	-	2	1.298	0,10	0,02	ja	ja	ja	----	0,095
1	286	0,30	0,04	ja	ja	ja	ja	----	-	-	-	-	-	-	-	1	3.180	0,17	0,02	ja	ja	ja	nein	----
IR-TempMax5 in °C																								
ANOVA p=0,000									ANOVA p=0,000							ANOVA p=0,000								
	N	MW	SE	5	4	3	2	1		N	MW	SE	1	2	3		N	MW	SE	5	4	3	1	2
5	509	33,38	0,03	----	0,109	0,116	0,106	0,166	1	6.446	33,55	0,01	----	0,040	0,072	5	437	31,40	0,05	----	0,174	0,162	0,163	0,177
4	2.487	33,61	0,02	ja	----	0,075	0,058	0,140	2	7.627	34,02	0,01	ja	----	0,071	4	1.464	31,59	0,03	ja	----	0,099	0,101	0,122
3	1.390	33,65	0,02	ja	nein	----	0,071	0,146	3	1.252	34,43	0,02	ja	ja	----	3	3.615	31,63	0,02	ja	nein	----	0,078	0,104
2	3.714	33,94	0,01	ja	ja	ja	----	0,138	-	-	-	-	-	-	-	1	3.180	31,76	0,02	ja	ja	ja	----	0,105
1	286	34,09	0,05	ja	ja	ja	ja	----	-	-	-	-	-	-	-	2	1.298	31,83	0,03	ja	ja	ja	nein	----
IR-TempMax5_korr in K																								
ANOVA p=0,000									ANOVA p=0,000							ANOVA p=0,000								
	N	MW	SE	5	2	4	3	1		N	MW	SE	3	1	2		N	MW	SE	5	4	3	2	1
5	509	-0,24	0,03	----	0,087	0,090	0,096	0,137	3	1.252	-0,08	0,02	----	0,055	0,054	5	437	-0,28	0,05	----	0,157	0,146	0,159	0,147
2	3.714	-0,01	0,01	ja	----	0,048	0,058	0,113	1	6.446	0,00	0,01	ja	----	0,030	4	1.464	-0,15	0,03	nein	----	0,089	0,110	0,091
4	2.487	0,01	0,01	ja	nein	----	0,062	0,115	2	7.627	0,02	0,01	ja	nein	----	3	3.615	-0,10	0,02	ja	nein	----	0,093	0,070
3	1.390	0,06	0,02	ja	ja	nein	----	0,120	-	-	-	-	-	-	-	2	1.298	0,12	0,02	ja	ja	ja	----	0,095
1	286	0,16	0,04	ja	ja	ja	nein	----	-	-	-	-	-	-	-	1	3.180	0,19	0,02	ja	ja	ja	nein	----

\* dargestellt sind unter dem Ergebnis der ANOVA die kritischen Mittelwert-Differenzen zwischen Gruppenpaaren der Laktationstag (rechts oben) und die Signifikanzwertung  $p < 0,05$  nach BONFERRONI (links unten)/ 1=  $\leq 50$  Laktationstage; 2=  $> 50$  und  $\leq 100$  Laktationstage; 3=  $> 100$  und  $\leq 200$  Laktationstage; 4=  $> 200$  und  $\leq 300$  Laktationstage; 5=  $> 300$  Laktationstage

**Tabelle A 13: Prüfung der Mittelwertdifferenzen der Oberflächentemperatur an der Schenkelfläche in Abhängigkeit vom Laktationstag auf Signifikanz\***

Betrieb 1																Betrieb 3								
Messreihe 1									Messreihe 3							Messreihe 5								
IR-TempMW in °C																								
ANOVA p=0,000									ANOVA p=0,000							ANOVA p=0,000								
	N	MW	SE	3	1	4	2	5		N	MW	SE	1	2	3		N	MW	SE	1	2	5	3	4
3	696	29,89	0,06	----	0,412	0,212	0,200	0,329	1	3.224	29,09	0,04	----	0,108	0,197	1	1.532	24,83	0,07	----	0,300	0,424	0,222	0,288
1	143	30,05	0,15	nein	----	0,396	0,390	0,469	2	3.814	30,26	0,03	ja	----	0,194	2	644	24,84	0,09	nein	----	0,466	0,294	0,346
4	1.263	30,06	0,04	nein	nein	----	0,164	0,308	3	626	30,93	0,06	ja	ja	----	5	267	25,02	0,15	nein	nein	----	0,419	0,458
2	1.864	30,18	0,04	ja	nein	nein	----	0,300	-	-	-	-	-	-	-	3	1.803	25,43	0,05	ja	ja	nein	----	0,281
5	255	30,32	0,08	ja	nein	nein	nein	----	-	-	-	-	-	-	-	4	728	26,07	0,07	ja	ja	ja	ja	----
IR-TempMW_korr in K																								
ANOVA p=0,005									ANOVA p=0,000							ANOVA p=0,000								
	N	MW	SE	3	1	4	2	5		N	MW	SE	3	1	2		N	MW	SE	2	5	1	3	4
3	696	-0,12	0,05	----	0,332	0,171	0,161	0,265	3	626	-0,56	0,05	----	0,143	0,142	2	644	-0,46	0,08	----	0,409	0,264	0,258	0,304
1	143	-0,08	0,11	nein	----	0,319	0,314	0,378	1	3.224	-0,18	0,03	ja	----	0,079	5	267	-0,24	0,13	nein	----	0,373	0,369	0,402
4	1.263	0,01	0,04	nein	nein	----	0,132	0,248	2	3.814	-0,04	0,02	ja	ja	----	1	1.532	-0,17	0,06	ja	nein	----	0,195	0,253
2	1.864	0,01	0,03	nein	nein	nein	----	0,241	-	-	-	-	-	-	-	3	1.803	0,07	0,04	ja	nein	ja	----	0,247
5	255	0,23	0,07	ja	nein	nein	nein	----	-	-	-	-	-	-	-	4	728	0,69	0,07	ja	ja	ja	ja	----
IR-TempMax in °C																								
ANOVA p=0,000									ANOVA p=0,000							ANOVA p=0,000								
	N	MW	SE	3	4	5	2	1		N	MW	SE	1	2	3		N	MW	SE	1	2	5	3	4
3	696	31,95	0,05	----	0,169	0,262	0,159	0,329	1	3.224	31,44	0,03	----	0,082	0,150	1	1.532	27,56	0,06	----	0,248	0,350	0,183	0,237
4	1.263	32,18	0,04	ja	----	0,246	0,131	0,316	2	3.814	32,19	0,02	ja	----	0,148	2	644	27,58	0,07	nein	----	0,384	0,242	0,285
5	255	32,33	0,07	ja	nein	----	0,239	0,374	3	626	32,64	0,05	ja	ja	----	5	267	27,68	0,12	nein	nein	----	0,346	0,377
2	1.864	32,34	0,03	ja	ja	nein	----	0,311	-	-	-	-	-	-	-	3	1.803	27,87	0,04	ja	ja	nein	----	0,232
1	143	32,60	0,11	ja	ja	nein	nein	----	-	-	-	-	-	-	-	4	728	28,34	0,06	ja	ja	ja	ja	----
IR-TempMax_korr in K																								
ANOVA p=0,000									ANOVA p=0,000							ANOVA p=0,000								
	N	MW	SE	3	2	4	5	1		N	MW	SE	3	2	1		N	MW	SE	2	5	1	3	4
3	696	-0,16	0,04	----	0,132	0,140	0,217	0,272	3	626	-0,51	0,04	----	0,113	0,114	2	644	-0,27	0,07	----	0,343	0,221	0,216	0,255
2	1.864	-0,01	0,02	ja	----	0,108	0,198	0,257	2	3.814	-0,07	0,02	ja	----	0,063	5	267	-0,13	0,11	nein	----	0,312	0,309	0,337
4	1.263	0,05	0,03	ja	nein	----	0,204	0,262	1	3.224	-0,06	0,02	ja	nein	----	1	1.532	-0,05	0,05	nein	nein	----	0,164	0,212
5	255	0,16	0,06	ja	nein	nein	----	0,310	-	-	-	-	-	-	-	3	1.803	-0,02	0,03	ja	nein	nein	----	0,207
1	143	0,27	0,08	ja	ja	nein	nein	----	-	-	-	-	-	-	-	4	728	0,45	0,05	ja	ja	ja	ja	----

Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Betrieb 1																Betrieb 3								
Messreihe 1									Messreihe 3							Messreihe 5								
									IR-TempMax2 in °C															
ANOVA p=0,000									-							ANOVA p=0,000								
	N	MW	SE	3	4	2	5	1		N	MW	SE	-	-	-		N	MW	SE	1	2	5	3	4
3	696	31,60	0,05	----	0,177	0,167	0,274	0,344	-	-	-	-	-	-	-	1	1.532	26,95	0,06	----	0,263	0,372	0,195	0,252
4	1.263	31,81	0,04	ja	----	0,137	0,257	0,331	-	-	-	-	-	-	-	2	644	26,96	0,08	nein	----	0,408	0,257	0,303
2	1.864	31,95	0,03	ja	ja	----	0,250	0,325	-	-	-	-	-	-	-	5	267	27,10	0,13	nein	nein	----	0,368	0,401
5	255	31,97	0,07	ja	nein	nein	----	0,392	-	-	-	-	-	-	-	3	1.803	27,33	0,04	ja	ja	nein	----	0,246
1	143	32,23	0,11	ja	ja	nein	nein	----	-	-	-	-	-	-	-	4	728	27,87	0,06	ja	ja	ja	ja	----
									IR-TempMax2_korr in K															
ANOVA p=0,000									-							ANOVA p=0,000								
	N	MW	SE	3	4	2	5	1		N	MW	SE	-	-	-		N	MW	SE	2	5	1	3	4
3	696	-0,19	0,04	----	0,146	0,138	0,227	0,285	-	-	-	-	-	-	-	2	644	-0,32	0,07	----	0,364	0,235	0,229	0,270
4	1.263	0,00	0,03	ja	----	0,113	0,213	0,274	-	-	-	-	-	-	-	5	267	-0,15	0,12	nein	----	0,331	0,328	0,357
2	1.864	0,02	0,02	ja	nein	----	0,207	0,269	-	-	-	-	-	-	-	1	1.532	-0,08	0,05	nein	nein	----	0,174	0,225
5	255	0,13	0,06	ja	nein	nein	----	0,324	-	-	-	-	-	-	-	3	1.803	-0,01	0,04	ja	nein	nein	----	0,219
1	143	0,34	0,08	ja	ja	ja	nein	----	-	-	-	-	-	-	-	4	728	0,52	0,06	ja	ja	ja	ja	----
									IR-TempMax5 in °C															
ANOVA p=0,000									ANOVA p=0,000							ANOVA p=0,000								
	N	MW	SE	3	4	2	5	1		N	MW	SE	1	2	3		N	MW	SE	1	2	5	3	4
3	696	31,39	0,05	----	0,182	0,172	0,283	0,355	1	3.224	30,72	0,03	----	0,089	0,162	1	1.532	26,63	0,06	----	0,271	0,383	0,200	0,260
4	1.263	31,58	0,04	ja	----	0,141	0,265	0,341	2	3.814	31,54	0,02	ja	----	0,160	2	644	26,65	0,08	nein	----	0,420	0,265	0,312
2	1.864	31,72	0,03	ja	nein	----	0,258	0,335	3	626	32,04	0,05	ja	ja	----	5	267	26,79	0,13	nein	nein	----	0,378	0,413
5	255	31,76	0,07	ja	nein	nein	----	0,404	-	-	-	-	-	-	-	3	1.803	27,05	0,04	ja	ja	nein	----	0,253
1	143	32,00	0,11	ja	ja	nein	nein	----	-	-	-	-	-	-	-	4	728	27,61	0,06	ja	ja	ja	ja	----
									IR-TempMax5_korr in K															
ANOVA p=0,000									ANOVA p=0,000							ANOVA p=0,000								
	N	MW	SE	3	2	4	5	1		N	MW	SE	3	1	2		N	MW	SE	2	5	1	3	4
3	696	-0,14	0,04	----	0,142	0,151	0,234	0,293	3	626	-0,56	0,05	----	0,123	0,121	2	644	-0,34	0,07	----	0,373	0,241	0,236	0,278
2	1.864	-0,02	0,03	nein	----	0,116	0,213	0,277	1	3.224	-0,09	0,02	ja	----	0,067	5	267	-0,16	0,12	nein	----	0,340	0,336	0,367
4	1.263	0,03	0,04	ja	nein	----	0,219	0,282	2	3.814	-0,09	0,02	ja	nein	----	1	1.532	-0,10	0,05	ja	nein	----	0,178	0,231
5	255	0,18	0,06	ja	nein	nein	----	0,334	-	-	-	-	-	-	-	3	1.803	0,01	0,04	ja	nein	nein	----	0,225
1	143	0,30	0,08	ja	ja	nein	nein	----	-	-	-	-	-	-	-	4	728	0,56	0,06	ja	ja	ja	ja	----

\* dargestellt sind unter dem Ergebnis der ANOVA die kritischen Mittelwert-Differenzen zwischen Gruppenpaaren der Laktationstag (rechts oben) und die Signifikanzwertung  $p < 0,05$  nach BONFERRONI (links unten)/ 1=  $\leq 50$  Laktationstage; 2=  $> 50$  und  $\leq 100$  Laktationstage; 3=  $> 100$  und  $\leq 200$  Laktationstage; 4=  $> 200$  und  $\leq 300$  Laktationstage; 5=  $> 300$  Laktationstage



**Tabelle A 14: Prüfung der Mittelwertdifferenzen der Oberflächentemperatur an den Klauen der Messreihe 6 in Abhängigkeit vom Laktationstag auf Signifikanz\***

Betrieb 3								
Messreihe 6								
IR-TempMW in °C								
ANOVA p=0,000								
	N	MW	SE	2	1	3	4	5
2	2.686	21,42	0,08	----	0,435	0,239	0,252	0,299
1	845	21,73	0,15	nein	----	0,395	0,403	0,434
3	10.134	21,73	0,04	ja	nein	----	0,174	0,237
4	6.625	23,27	0,08	ja	ja	ja	----	0,250
5	2.765	23,28	0,05	ja	ja	ja	nein	----
IR-TempMW_korr in K								
ANOVA p=0,000								
	N	MW	SE	2	3	1	5	4
2	2.686	-0,70	0,07	----	0,217	0,395	0,271	0,229
3	10.134	-0,49	0,04	nein	----	0,359	0,215	0,158
1	845	-0,47	0,14	nein	nein	----	0,394	0,366
5	2.765	0,81	0,07	ja	ja	ja	----	0,227
4	6.625	0,91	0,04	ja	ja	ja	nein	----
IR-TempMax in °C								
ANOVA p=0,000								
	N	MW	SE	2	3	1	5	4
2	2.686	24,82	0,07	----	0,219	0,397	0,273	0,230
3	10.134	25,25	0,04	ja	----	0,361	0,216	0,159
1	845	25,38	0,13	ja	nein	----	0,396	0,368
5	2.765	26,36	0,07	ja	ja	ja	----	0,228
4	6.625	26,58	0,04	ja	ja	ja	nein	----
IR-TempMax_korr in K								
ANOVA p=0,000								
	N	MW	SE	2	3	1	5	4
2	2.686	-0,74	0,07	----	0,204	0,370	0,254	0,215
3	10.134	-0,39	0,03	ja	----	0,336	0,201	0,148
1	845	-0,24	0,13	ja	nein	----	0,369	0,343
5	2.765	0,52	0,06	ja	ja	ja	----	0,213
4	6.625	0,83	0,04	ja	ja	ja	ja	----

Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Betrieb 3								
Messreihe 6								
IR-TempMax2 in °C								
ANOVA p=0,000								
	N	MW	SE	2	3	1	5	4
2	2.686	24,45	0,07	----	0,221	0,401	0,275	0,232
3	10.134	24,87	0,04	ja	----	0,364	0,218	0,161
1	845	25,00	0,13	ja	nein	----	0,399	0,371
5	2.765	26,04	0,07	ja	ja	ja	----	0,230
4	6.625	26,24	0,04	ja	ja	ja	nein	----
IR-TempMax2_korr in K								
ANOVA p=0,000								
	N	MW	SE	2	3	1	5	4
2	2.686	-0,74	0,07	----	0,205	0,372	0,255	0,216
3	10.134	-0,41	0,03	ja	----	0,338	0,202	0,149
1	845	-0,26	0,13	ja	nein	----	0,371	0,344
5	2.765	0,56	0,06	ja	ja	ja	----	0,213
4	6.625	0,85	0,04	ja	ja	ja	ja	----
IR-TempMax5 in °C								
ANOVA p=0,000								
	N	MW	SE	2	3	1	5	4
2	2.686	24,09	0,07	----	0,223	0,405	0,278	0,235
3	10.134	24,50	0,04	ja	----	0,368	0,221	0,162
1	845	24,63	0,14	ja	nein	----	0,404	0,375
5	2.765	25,74	0,07	ja	ja	ja	----	0,233
4	6.625	25,91	0,04	ja	ja	ja	nein	----
IR-TempMax5_korr in K								
ANOVA p=0,000								
	N	MW	SE	2	3	1	5	4
2	2.686	-0,75	0,07	----	0,206	0,375	0,257	0,217
3	10.134	-0,43	0,03	ja	----	0,340	0,204	0,150
1	845	-0,28	0,13	ja	nein	----	0,373	0,347
5	2.765	0,60	0,07	ja	ja	ja	----	0,215
4	6.625	0,87	0,04	ja	ja	ja	ja	----

\* dargestellt sind unter dem Ergebnis der ANOVA die kritischen Mittelwert-Differenzen zwischen Gruppenpaaren der Laktationstage (rechts oben) und die Signifikanzwertung  $p < 0,05$  nach BONFERRONI (links unten)/ 1=  $\leq 50$  Laktationstage; 2=  $> 50$  und  $\leq 100$  Laktationstage; 3=  $> 100$  und  $\leq 200$  Laktationstage; 4=  $> 200$  und  $\leq 300$  Laktationstage; 5=  $> 300$  Laktationstage

**Tabelle A 15: Prüfung der Mittelwertdifferenzen der Oberflächentemperatur an den Eutern in Abhängigkeit von der Milchleistung auf Signifikanz\***

Betrieb 1																Betrieb 3							
Messreihe 1								Messreihe 3								Messreihe 5							
IR-TempMW in °C																							
ANOVA p=0,057								ANOVA p=0,794								ANOVA p=0,002							
	N	MW	SE	2	1	4	3		N	MW	SE	4	2	1	3		N	MW	SE	2	1	3	4
2	57	32,19	0,07	----	0,969	0,294	0,278	4	104	31,87	0,07	----	0,507	0,793	0,358	2	50	30,24	0,23	----	1,672	0,548	0,527
1	4	32,37	0,23	nein	----	0,950	0,945	2	22	31,94	0,23	nein	----	0,892	0,544	1	4	30,47	0,85	nein	----	1,637	1,630
4	142	32,37	0,06	nein	nein	----	0,201	1	8	31,98	0,21	nein	nein	----	0,817	3	111	30,70	0,13	nein	nein	----	0,405
3	223	32,47	0,05	ja	nein	nein	----	3	56	32,00	0,13	nein	nein	nein	----	4	146	31,00	0,07	ja	nein	nein	----
IR-TempMW_korr in K																							
ANOVA p=0,061								ANOVA p=0,521								ANOVA p=0,003							
	N	MW	SE	2	1	4	3		N	MW	SE	4	2	3	1		N	MW	SE	2	1	3	4
2	57	0,01	0,07	----	0,968	0,293	0,278	4	104	-0,22	0,07	----	0,514	0,363	0,803	2	50	-0,52	0,21	----	1,691	0,554	0,533
1	4	0,02	0,19	nein	----	0,948	0,944	2	22	-0,06	0,22	nein	----	0,551	0,904	1	4	-0,36	0,90	nein	----	1,656	1,649
4	142	0,06	0,06	nein	nein	----	0,201	3	56	-0,03	0,13	nein	nein	----	0,827	3	111	-0,04	0,14	nein	nein	----	0,410
3	223	0,23	0,05	nein	nein	nein	----	1	8	-0,02	0,21	nein	nein	nein	----	4	146	0,22	0,07	ja	nein	nein	----
IR-TempMax in °C																							
ANOVA p=0,041								ANOVA p=0,394								ANOVA p=0,040							
	N	MW	SE	2	4	3	1		N	MW	SE	2	4	1	3		N	MW	SE	1	2	3	4
2	57	33,77	0,07	----	0,267	0,253	0,881	2	22	33,40	0,20	----	0,418	0,736	0,449	1	4	32,34	0,75	----	1,385	1,357	1,351
4	142	33,99	0,05	nein	----	0,183	0,863	4	104	33,51	0,06	nein	----	0,654	0,296	2	50	32,37	0,17	nein	----	0,454	0,437
3	223	34,04	0,04	ja	nein	----	0,859	1	8	33,52	0,23	nein	nein	----	0,674	3	111	32,66	0,10	nein	nein	----	0,336
1	57	34,20	0,12	nein	nein	nein	----	3	56	33,66	0,08	nein	nein	nein	----	4	146	32,83	0,07	nein	ja	nein	----
IR-TempMax_korr in K																							
ANOVA p=0,086								ANOVA p=0,329								ANOVA p=0,050							
	N	MW	SE	2	4	3	1		N	MW	SE	2	4	1	3		N	MW	SE	1	2	3	4
2	57	-0,07	0,07	----	0,263	0,249	0,868	2	22	-0,25	0,20	----	0,422	0,742	0,452	1	4	-0,39	0,75	----	1,390	1,361	1,356
4	142	0,04	0,05	nein	----	0,180	0,851	4	104	-0,22	0,09	nein	----	0,660	0,298	2	50	-0,32	0,17	nein	----	0,456	0,438
3	223	0,15	0,04	nein	nein	----	0,846	1	8	-0,13	0,24	nein	nein	----	0,680	3	111	-0,01	0,10	nein	nein	----	0,337
1	57	0,23	0,15	nein	nein	nein	----	3	56	-0,02	0,06	nein	nein	nein	----	4	146	0,12	0,07	nein	ja	nein	----

Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Betrieb 1																Betrieb 3							
Messreihe 1								Messreihe 3								Messreihe 5							
IR-TempMax2 in °C																							
ANOVA p=0,027								-								ANOVA p=0,032							
	N	MW	SE	2	4	3	1		N	MW	SE	-	-	-	-		N	MW	SE	1	2	3	4
2	57	33,40	0,07	----	0,269	0,255	0,888	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4	31,89	0,73	----	1,393	1,364	1,358
4	142	33,56	0,05	nein	----	0,184	0,871	-	-	-	-	-	-	-	-	2	50	32,01	0,18	nein	----	0,456	0,439
3	223	33,68	0,05	ja	nein	----	0,867	-	-	-	-	-	-	-	-	3	111	32,31	0,10	nein	nein	----	0,338
1	57	33,79	0,09	nein	nein	nein	----	-	-	-	-	-	-	-	-	4	146	32,48	0,07	nein	ja	nein	----
IR-TempMax2_korr in K																							
ANOVA p=0,008								-								ANOVA p=0,042							
	N	MW	SE	2	4	3	1		N	MW	SE	-	-	-	-		N	MW	SE	1	2	3	4
2	57	-0,10	0,07	----	0,274	0,259	0,903	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4	-0,49	0,77	----	1,406	1,377	1,371
4	142	0,19	0,05	ja	----	0,187	0,885	-	-	-	-	-	-	-	-	2	50	-0,32	0,17	nein	----	0,461	0,443
3	223	0,23	0,05	ja	nein	----	0,880	-	-	-	-	-	-	-	-	3	111	-0,01	0,10	nein	nein	----	0,341
1	57	0,40	0,11	nein	nein	nein	----	-	-	-	-	-	-	-	-	4	146	0,13	0,07	nein	ja	nein	----
IR-TempMax5 in °C																							
ANOVA p=0,024								ANOVA p=0,511								ANOVA p=0,023							
	N	MW	SE	2	4	3	1		N	MW	SE	2	4	1	3		N	MW	SE	1	2	3	4
2	57	33,20	0,07	----	0,270	0,256	0,892	2	22	32,87	0,22	----	0,429	0,755	0,460	1	4	31,67	0,72	----	1,436	1,406	1,400
4	142	33,35	0,05	nein	----	0,185	0,874	4	104	32,88	0,06	nein	----	0,671	0,303	2	50	31,75	0,20	nein	----	0,471	0,453
3	223	33,48	0,05	ja	nein	----	0,870	1	8	32,95	0,19	nein	nein	----	0,691	3	111	32,07	0,10	nein	nein	----	0,348
1	57	33,55	0,07	nein	nein	nein	----	3	56	33,05	0,09	nein	nein	nein	----	4	146	32,25	0,07	nein	ja	nein	----
Ir-TempMax5_korr in K																							
ANOVA p=0,023								ANOVA p=0,342								ANOVA p=0,032							
	N	MW	SE	2	4	1	3		N	MW	SE	4	2	1	3		N	MW	SE	1	2	3	4
2	57	-0,04	0,07	----	0,269	0,886	0,254	4	104	-0,24	0,06	----	0,435	0,680	0,307	1	4	-0,49	0,76	----	1,451	1,421	1,415
4	142	0,01	0,05	nein	----	0,868	0,184	2	22	-0,17	0,21	nein	----	0,765	0,466	2	50	-0,35	0,19	nein	----	0,475	0,457
1	57	0,18	0,06	nein	nein	----	0,864	1	8	-0,11	0,20	nein	nein	----	0,700	3	111	-0,02	0,11	nein	nein	----	0,352
3	223	0,19	0,05	nein	nein	nein	----	3	56	-0,03	0,10	nein	nein	nein	----	4	146	0,13	0,07	nein	ja	nein	----

\* dargestellt sind unter dem Ergebnis der ANOVA die kritischen Mittelwert-Differenzen zwischen Gruppenpaaren der Laktationstag (rechts oben) und die Signifikanzwertung  $p < 0,05$  nach BONFERRONI (links unten)/ 1=  $\leq 15$  kg Milch/Kuh+Tag; 2=  $> 15$  und  $\leq 25$  kg Milch/Kuh+Tag; 3=  $> 25$  und  $\leq 35$  kg Milch/Kuh+Tag; 4=  $> 35$  kg Milch/Kuh+Tag

**Tabelle A 16: Prüfung der Mittelwertdifferenzen der Oberflächentemperatur an der Schenkelfläche in Abhängigkeit von der Milchleistung auf Signifikanz\***

Betrieb 1																Betrieb 3							
Messreihe 1								Messreihe 3								Messreihe 5							
IR-TempMW in °C																							
ANOVA p=0,075								ANOVA p=0,646								ANOVA p=0,380							
	N	MW	SE	2	4	3	1		N	MW	SE	3	1	2	4		N	MW	SE	2	3	4	1
2	29	29,14	0,26	----	0,772	0,730	2,562	3	28	27,39	0,27	----	2,085	1,388	0,914	2	23	24,88	0,38	----	1,346	1,301	4,017
4	71	29,16	0,17	nein	----	0,532	2,512	1	4	27,59	0,38	nein	----	2,277	2,023	3	57	24,94	0,29	nein	----	0,960	3,920
3	112	29,61	0,11	nein	nein	----	2,500	2	11	27,74	0,49	nein	nein	----	1,294	4	74	25,20	0,23	nein	nein	----	3,904
1	2	30,23	0,40	nein	nein	nein	----	4	52	27,82	0,20	nein	nein	nein	----	1	2	27,29	1,11	nein	nein	nein	----
IR-TempMW in K																							
ANOVA p=0,100								ANOVA p=0,765								ANOVA p=0,350							
	N	MW	SE	2	4	3	1		N	MW	SE	3	1	4	2		N	MW	SE	2	3	4	1
2	29	0,02	0,25	----	0,765	0,723	2,538	3	28	-0,76	0,28	----	2,081	0,913	1,385	2	23	-1,41	0,36	----	1,258	1,216	3,755
4	71	0,27	0,17	nein	----	0,527	2,489	1	4	-0,50	0,40	nein	----	2,020	2,273	3	57	-1,30	0,27	nein	----	0,898	3,664
3	112	0,58	0,11	nein	nein	----	2,476	4	52	-0,43	0,20	nein	nein	----	1,292	4	74	-1,07	0,22	nein	nein	----	3,650
1	2	1,30	0,25	nein	nein	nein	----	2	11	-0,34	0,47	nein	nein	nein	----	1	2	0,95	1,27	nein	nein	nein	----
IR-TempMax in °C																							
ANOVA p=0,068								ANOVA p=0,532								ANOVA p=0,172							
	N	MW	SE	2	4	1	3		N	MW	SE	3	1	4	2		N	MW	SE	2	3	4	1
2	29	31,49	0,18	----	0,596	1,977	0,564	3	28	30,43	0,20	----	1,584	0,695	1,054	2	23	27,22	0,40	----	1,228	1,186	3,663
4	71	31,55	0,13	nein	----	1,939	0,410	1	4	30,57	0,52	nein	----	1,537	1,730	3	57	27,32	0,26	nein	----	0,876	3,575
1	2	31,61	0,11	nein	nein	----	1,930	4	52	30,68	0,17	nein	nein	----	0,983	4	74	27,67	0,21	nein	nein	----	3,561
3	112	31,91	0,09	nein	nein	nein	----	2	11	30,99	0,20	nein	nein	nein	----	1	2	29,91	0,58	nein	nein	nein	----
IR-TempMax_korr in K																							
ANOVA p=0,091								ANOVA p=0,487								ANOVA p=0,137							
	N	MW	SE	2	4	1	3		N	MW	SE	3	4	1	2		N	MW	SE	2	3	4	1
2	29	0,00	0,18	----	0,591	1,962	0,559	3	28	-0,23	0,21	----	0,699	1,595	1,062	2	23	-1,39	0,38	----	1,140	1,102	3,402
4	71	0,19	0,13	nein	----	1,924	0,407	4	52	-0,06	0,16	nein	----	1,548	0,990	3	57	-1,24	0,24	nein	----	0,813	3,320
1	2	0,22	0,24	nein	nein	----	1,915	1	4	-0,05	0,53	nein	nein	----	1,742	4	74	-0,92	0,19	nein	nein	----	3,307
3	112	0,47	0,09	nein	nein	nein	----	2	11	0,39	0,18	nein	nein	nein	----	1	2	1,27	0,71	nein	nein	nein	----

Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Betrieb 1																Betrieb 3							
Messreihe 1								Messreihe 3								Messreihe 5							
ANOVA p=0,037								IR-TempMax2 in °C								ANOVA p=0,192							
	N	MW	SE	2	4	1	3		N	MW	SE	-	-	-	-		N	MW	SE	2	3	4	1
2	29	31,03	0,20	----	0,642	2,130	0,607	-	-	-	-	-	-	-	-	2	23	26,67	0,39	----	1,274	1,231	3,802
4	71	31,10	0,14	nein	----	2,089	0,442	-	-	-	-	-	-	-	-	3	57	26,72	0,27	nein	----	0,909	3,710
1	2	31,36	0,02	nein	nein	----	2,078	-	-	-	-	-	-	-	-	4	74	27,11	0,22	nein	nein	----	3,695
3	112	31,52	0,10	nein	nein	nein	----	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	29,33	0,66	nein	nein	nein	----
IR-TempMax2_korr in K																ANOVA p=0,158							
	N	MW	SE	2	4	1	3		N	MW	SE	-	-	-	-		N	MW	SE	2	3	4	1
2	29	-0,07	0,20	----	0,638	2,116	0,603	-	-	-	-	-	-	-	-	2	23	-1,43	0,37	----	1,186	1,146	3,539
4	71	0,23	0,14	nein	----	2,075	0,439	-	-	-	-	-	-	-	-	3	57	-1,34	0,25	nein	----	0,846	3,453
1	2	0,46	0,15	nein	nein	----	2,064	-	-	-	-	-	-	-	-	4	74	-0,98	0,20	nein	nein	----	3,440
3	112	0,52	0,10	nein	nein	nein	----	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	1,18	0,79	nein	nein	nein	----
IR-TempMax5 in °C																ANOVA p=0,225							
	N	MW	SE	2	4	1	3		N	MW	SE	3	1	4	2		N	MW	SE	2	3	4	1
2	29	30,75	0,22	----	0,667	2,213	0,631	3	28	29,42	0,21	----	1,699	0,745	1,131	2	23	26,39	0,38	----	1,297	1,254	3,872
4	71	30,85	0,15	nein	----	2,171	0,459	1	4	29,70	0,50	nein	----	1,649	1,855	3	57	26,45	0,28	nein	----	0,926	3,778
1	2	31,16	0,10	nein	nein	----	2,160	4	52	29,75	0,18	nein	nein	----	1,055	4	74	26,82	0,22	nein	nein	----	3,763
3	112	31,29	0,10	nein	nein	nein	----	2	11	29,83	0,28	nein	nein	nein	----	1	2	28,97	0,80	nein	nein	nein	----
IR-TempMax5_korr in K																ANOVA p=0,190							
	N	MW	SE	2	4	1	3		N	MW	SE	3	4	1	2		N	MW	SE	2	3	4	1
2	29	-0,08	0,22	----	0,662	2,195	0,626	3	28	-0,50	0,22	----	0,746	1,701	1,133	2	23	-1,45	0,36	----	1,208	1,168	3,606
4	71	0,19	0,15	nein	----	2,153	0,456	4	52	-0,25	0,17	nein	----	1,652	1,056	3	57	-1,35	0,26	nein	----	0,862	3,519
1	2	0,46	0,04	nein	nein	----	2,142	1	4	-0,16	0,51	nein	nein	----	1,859	4	74	-1,00	0,21	nein	nein	----	3,505
3	112	0,54	0,10	nein	nein	nein	----	2	11	-0,03	0,26	nein	nein	nein	----	1	2	1,09	0,94	nein	nein	nein	----

\* dargestellt sind unter dem Ergebnis der ANOVA die kritischen Mittelwert-Differenzen zwischen Gruppenpaaren der Laktationstag (rechts oben) und die Signifikanzwertung  $p < 0,05$  nach BONFERRONI (links unten)/ 1=  $\leq 15$  kg Milch/Kuh+Tag; 2=  $> 15$  und  $\leq 25$  kg Milch/Kuh+Tag; 3=  $> 25$  und  $\leq 35$  kg Milch/Kuh+Tag; 4=  $> 35$  kg Milch/Kuh+Tag

**Tabelle A 17: Prüfung der Mittelwertdifferenzen der Oberflächentemperatur an den Klauen der Messreihe 6 in Abhängigkeit von der Milchleistung auf Signifikanz\***

Betrieb 3						
Messreihe 6						
IR-TempMW in °C						
ANOVA p=0,042						
	N	MW	SE	4	3	2
4	220	22,35	0,25	----	0,887	1,128
3	175	22,92	0,27	nein	----	1,167
2	83	23,49	0,39	ja	nein	----
IR-TempMW_korr in K						
ANOVA p=0,099						
	N	MW	SE	4	3	2
4	220	-1,00	0,21	----	0,746	0,949
3	175	-0,51	0,23	nein	----	0,982
2	83	-0,24	0,33	nein	nein	----
IR-TempMax in °C						
ANOVA p=0,035						
	N	MW	SE	4	3	2
4	220	25,61	0,23	----	0,780	0,992
3	175	26,17	0,24	nein	----	1,027
2	83	26,61	0,31	ja	nein	----
IR-TempMax_korr in K						
ANOVA p=0,077						
	N	MW	SE	4	3	2
4	220	-0,93	0,19	----	0,683	0,869
3	175	-0,42	0,22	nein	----	0,899
2	83	-0,23	0,27	nein	nein	----
IR-TempMax2 in °C						
ANOVA p=0,036						
	N	MW	SE	4	3	2
4	220	25,26	0,23	----	0,786	0,999
3	175	25,84	0,24	nein	----	1,034
2	83	26,26	0,32	ja	nein	----
IR-TempMax2_korr in K						
ANOVA p=0,078						
	N	MW	SE	4	3	2
4	220	-0,94	0,19	----	0,683	0,869
3	175	-0,43	0,22	nein	----	0,899
2	83	-0,25	0,28	nein	nein	----

Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Betrieb 3						
Messreihe 6						
IR-TempMax5 in °C						
ANOVA p=0,037						
	N	MW	SE	4	3	2
4	220	24,93	0,24	----	0,797	1,014
3	175	25,51	0,23	nein	----	1,049
2	83	25,93	0,32	nein	nein	----
IR-TempMax5_korr in K						
ANOVA p=0,081						
	N	MW	SE	4	3	2
4	220	-0,96	0,19	----	0,689	0,876
3	175	-0,44	0,22	nein	----	0,906
2	83	-0,28	0,28	nein	nein	----

\* dargestellt sind unter dem Ergebnis der ANOVA die kritischen Mittelwert-Differenzen zwischen Gruppenpaaren der Laktationstag (rechts oben) und die Signifikanzwertung  $p < 0,05$  nach BONFERRONI (links unten)/ 1=  $\leq 15$  kg Milch/Kuh+Tag; 2=  $>15$  und  $\leq 25$  kg Milch/Kuh+Tag; 3=  $>25$  und  $\leq 35$  kg Milch/Kuh+Tag; 4=  $>35$  kg Milch/Kuh+Tag



**Tabelle A 18: Mittelwerte der IR-Kenngrößen an den Eutern in Abhängigkeit vom Ergebnis der zytobakteriologischen Untersuchung**

		Betrieb 1			Betrieb 3		
		Messreihe 1			Messreihe 5		
		N	MW	SE	N	MW	SE
IR-TempMW in °C							
normale Sekretion	(1)	156	32,24	0,07	584	30,60	0,05
latente Infektion	(2)	33	32,30	0,11	70	30,70	0,10
unspezifische Mastitis	(3)	60	32,21	0,12	269	30,42	0,07
Mastitis	(4)	22	32,22	0,23	141	30,57	0,10
IR-TempMW_korr in K							
normale Sekretion	(1)	156	-0,20	0,06	584	0,10	0,05
latente Infektion	(2)	33	-0,11	0,11	70	0,13	0,11
unspezifische Mastitis	(3)	60	-0,26	0,10	269	-0,22	0,07
Mastitis	(4)	22	-0,16	0,16	141	-0,05	0,10
IR-TempMax in °C							
normale Sekretion	(1)	156	33,89	0,06	584	32,61	0,05
latente Infektion	(2)	33	33,97	0,10	70	32,55	0,11
unspezifische Mastitis	(3)	60	33,88	0,10	269	32,49	0,06
Mastitis	(4)	22	33,82	0,18	141	32,56	0,09
IR-TempMax_korr in K							
normale Sekretion	(1)	156	-0,15	0,05	584	0,12	0,05
latente Infektion	(2)	33	-0,05	0,10	70	0,01	0,11
unspezifische Mastitis	(3)	60	-0,18	0,09	269	-0,11	0,06
Mastitis	(4)	22	-0,17	0,13	141	-0,02	0,08
IR-TempMax2 in °C							
normale Sekretion	(1)	156	33,50	0,06	584	32,25	0,05
latente Infektion	(2)	33	33,55	0,11	70	32,18	0,10
unspezifische Mastitis	(3)	60	33,42	0,10	269	32,10	0,06
Mastitis	(4)	22	33,39	0,18	141	32,19	0,09
IR-TempMax2_korr in K							
normale Sekretion	(1)	156	-0,13	0,05	584	0,12	0,04
latente Infektion	(2)	33	0,06	0,11	70	0,00	0,11
unspezifische Mastitis	(3)	60	-0,31	0,09	269	-0,13	0,06
Mastitis	(4)	22	-0,29	0,15	141	-0,03	0,08
IR-TempMax5 in °C							
normale Sekretion	(1)	156	33,28	0,06	584	32,00	0,05
latente Infektion	(2)	33	33,35	0,11	70	31,96	0,10
unspezifische Mastitis	(3)	60	33,21	0,10	269	31,86	0,06
Mastitis	(4)	22	33,20	0,18	141	31,95	0,09
IR-TempMax5_korr in K							
normale Sekretion	(1)	156	-0,17	0,05	584	0,11	0,04
latente Infektion	(2)	33	-0,07	0,11	70	0,01	0,11
unspezifische Mastitis	(3)	60	-0,26	0,09	269	-0,15	0,06
Mastitis	(4)	22	-0,21	0,14	141	-0,03	0,08

**Tabelle A 19: Prüfung der Mittelwertdifferenzen der Oberflächentemperatur an den Eutern in Abhängigkeit vom Ergebnis der zytobakteriologischen Untersuchung auf Signifikanz\***

	Betrieb 1					Betrieb 3					
	Messreihe 1					Messreihe 5					
IR-TempMW in °C											
	ANOVA p=0,970						ANOVA p=0,128				
	(Mittelwert)	3	4	1	2		(Mittelwert)	3	4	1	2
3	32,21	----	0,569	0,347	0,494	3	30,42	----	0,325	0,230	0,419
4	32,22	nein	----	0,520	0,628	4	30,57	nein	----	0,293	0,457
1	32,24	nein	nein	----	0,437	1	30,60	nein	nein	----	0,395
2	32,30	nein	nein	nein	----	2	30,70	nein	nein	nein	----
IR-TempMW_korr in K											
	ANOVA p=0,820						ANOVA p=0,001				
	(Mittelwert)	3	1	4	2		(Mittelwert)	3	4	1	2
3	-0,26	----	0,286	0,469	0,408	3	-0,22	----	0,320	0,227	0,412
1	-0,20	nein	----	0,429	0,361	4	-0,05	nein	----	0,288	0,449
4	-0,16	nein	nein	----	0,518	1	0,10	ja	nein	----	0,389
2	-0,11	nein	nein	nein	----	2	0,13	nein	nein	nein	----
IR-TempMax in °C											
	ANOVA p=0,899						ANOVA p=0,463				
	(Mittelwert)	4	3	1	2		(Mittelwert)	3	2	4	1
4	33,82	----	0,479	0,438	0,529	3	32,49	----	0,375	0,290	0,206
3	33,88	nein	----	0,292	0,417	2	32,55	nein	----	0,408	0,353
1	33,89	nein	nein	----	0,368	4	32,56	nein	nein	----	0,262
2	33,97	nein	nein	nein	----	1	32,61	nein	nein	nein	----
IR-TempMax_korr in K											
	ANOVA p=0,803						ANOVA p=0,026				
	(Mittelwert)	3	4	1	2		(Mittelwert)	3	4	2	1
3	-0,18	----	0,410	0,250	0,357	3	-0,11	----	0,288	0,371	0,204
4	-0,17	nein	----	0,375	0,453	4	-0,02	nein	----	0,405	0,260
1	-0,15	nein	nein	----	0,315	2	0,01	nein	nein	----	0,350
2	-0,05	nein	nein	nein	----	1	0,12	ja	nein	nein	----
IR-TempMax2 in °C											
	ANOVA p=0,782						ANOVA p=0,317				
	(Mittelwert)	4	3	1	2		(Mittelwert)	3	2	4	1
4	33,39	----	0,485	0,443	0,536	3	32,10	----	0,368	0,286	0,202
3	33,42	nein	----	0,296	0,422	2	32,18	nein	----	0,402	0,347
1	33,50	nein	nein	----	0,373	4	32,19	nein	nein	----	0,258
2	33,55	nein	nein	nein	----	1	32,25	nein	nein	nein	----
IR-TempMax2_korr in K											
	ANOVA p=0,047						ANOVA p=0,009				
	(Mittelwert)	3	4	1	2		(Mittelwert)	3	4	2	1
3	-0,31	----	0,435	0,265	0,378	3	-0,13	----	0,283	0,365	0,201
4	-0,29	nein	----	0,397	0,480	4	-0,03	nein	----	0,398	0,255
1	-0,13	nein	nein	----	0,334	2	0,00	nein	nein	----	0,344
2	0,06	nein	nein	nein	----	1	0,12	ja	nein	nein	----

Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

	Betrieb 1						Betrieb 3					
	Messreihe 1						Messreihe 5					
IR-TempMax5 in °C												
	ANOVA p=0,795							ANOVA p=0,304				
	(Mittelwert)	4	3	1	2		(Mittelwert)	3	4	2	1	
4	33,20	----	0,490	0,448	0,542	3	31,86	----	0,287	0,370	0,203	
3	33,21	nein	----	0,299	0,426	4	31,95	nein	----	0,403	0,259	
1	33,28	nein	nein	----	0,377	2	31,96	nein	nein	----	0,349	
2	33,35	nein	nein	nein	----	1	32,00	nein	nein	nein	----	
IR-TempMax5_korr in K												
	ANOVA p=0,546							ANOVA p=0,007				
	(Mittelwert)	3	4	1	2		(Mittelwert)	3	4	2	1	
3	-0,26	----	0,414	0,253	0,360	3	-0,15	----	0,284	0,367	0,201	
4	-0,21	nein	----	0,379	0,458	4	-0,03	nein	----	0,400	0,256	
1	-0,17	nein	nein	----	0,319	2	0,01	nein	nein	----	0,346	
2	-0,07	nein	nein	nein	----	1	0,11	ja	nein	nein	----	

\* dargestellt sind unter dem Ergebnis der ANOVA die kritischen Mittelwert-Differenzen zwischen Gruppenpaaren der Euterkategorien (rechts oben) und die Signifikanzwertung  $p < 0,05$  nach Bonferroni (links unten)/ 1= normale Sekretion; 2= latente Infektion; 3= unspezifische Mastitis; 4= Mastitis

**Tabelle A 20: LSMeans (LSM) mit Standardfehler (SE) und deren Differenzen (mit p-value) für ausgewählte IR-Kenngrößen an den Eutern der Messreihe 1**

IR-Kenngröße	Gruppe		Umgebungstemperatur										
			gesamt	13°C	14°C	15°C	16°C	17°C	18°C	19°C	20°C	21°C	22°C
IR-TempMW	normale Sekretion	LSM	32,60	33,14	32,64	32,39	32,34	32,45	32,69	32,99	33,33	33,65	33,92
		SE	0,25	0,49	0,28	0,28	0,29	0,30	0,29	0,27	0,43	1,01	2,01
	veränderte Sekretion	LSM	32,56	33,60	32,55	32,15	32,21	32,53	32,94	33,22	33,20	32,68	31,46
		SE	0,26	0,48	0,29	0,28	0,29	0,29	0,28	0,31	0,56	1,15	2,13
	Differenz		0,04	-0,46	0,09	0,24	0,13	-0,08	-0,25	-0,23	0,13	0,98	2,45
	p-value		0,599	0,127	0,362	0,072	0,303	0,565	0,150	0,389	0,826	0,452	0,310
IR-TempMax	normale Sekretion	LSM	34,22	34,35	34,25	34,16	34,11	34,11	34,19	34,37	34,66	35,08	35,66
		SE	0,23	0,45	0,26	0,26	0,27	0,28	0,28	0,25	0,42	0,97	1,91
	veränderte Sekretion	LSM	34,19	34,51	34,18	34,05	34,07	34,18	34,33	34,47	34,55	34,52	34,33
		SE	0,25	0,45	0,27	0,27	0,27	0,27	0,26	0,30	0,54	1,10	2,04
	Differenz		0,03	-0,16	0,07	0,11	0,04	-0,06	-0,13	-0,10	0,11	0,56	1,33
	p-value		0,704	0,599	0,490	0,398	0,730	0,671	0,459	0,715	0,859	0,668	0,584
IR-TempMax2	normale Sekretion	LSM	33,83	34,05	33,85	33,72	33,67	33,71	33,85	34,10	34,48	34,98	35,62
		SE	0,23	0,45	0,26	0,26	0,27	0,28	0,28	0,25	0,42	0,97	1,92
	veränderte Sekretion	LSM	33,78	34,26	33,77	33,56	33,57	33,74	33,98	34,23	34,41	34,47	34,32
		SE	0,25	0,45	0,27	0,27	0,27	0,27	0,26	0,30	0,54	1,10	2,04
	Differenz		0,05	-0,21	0,08	0,16	0,10	-0,02	-0,12	-0,12	0,06	0,51	1,30
	p-value		0,517	0,477	0,387	0,220	0,445	0,860	0,481	0,650	0,919	0,698	0,593
IR-TempMax5	normale Sekretion	LSM	33,64	33,91	33,66	33,51	33,46	33,52	33,68	33,95	34,31	34,77	35,34
		SE	0,23	0,45	0,26	0,26	0,27	0,28	0,28	0,25	0,41	0,96	1,90
	veränderte Sekretion	LSM	33,60	34,16	33,59	33,35	33,37	33,55	33,82	34,09	34,29	34,33	34,13
		SE	0,25	0,45	0,27	0,27	0,27	0,27	0,26	0,29	0,53	1,09	2,02
	Differenz		0,04	-0,25	0,07	0,16	0,10	-0,02	-0,13	-0,14	0,02	0,45	1,21
	p-value		0,626	0,387	0,492	0,224	0,429	0,858	0,443	0,585	0,971	0,729	0,612

**Tabelle A 21: LSMeans (LSM) mit Standardfehler (SE) und deren Differenzen (mit p-value) für ausgewählte IR-Kenngrößen an den Eutern der Messreihe 5**

IR-Kenngröße	Gruppe		Umgebungstemperatur										
			gesamt	13°C	14°C	15°C	16°C	17°C	18°C	19°C	20°C	21°C	22°C
IR-TempMW	normale Sekretion	LSM	30,56	29,08	29,78	30,26	30,54	30,68	30,72	30,70	30,67	30,66	30,74
		SE	0,07	0,29	0,15	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,12	0,14
	veränderte Sekretion	LSM	30,48	29,22	29,71	30,07	30,30	30,45	30,53	30,58	30,62	30,67	30,77
		SE	0,08	0,31	0,17	0,11	0,11	0,12	0,11	0,11	0,11	0,12	0,13
	Differenz		0,08	-0,14	0,07	0,19	0,24	0,23	0,18	0,11	0,05	-0,01	-0,03
	p-value		0,174	0,597	0,622	0,070	0,028	0,028	0,047	0,169	0,587	0,908	0,756
IR-TempMax	normale Sekretion	LSM	32,53	31,22	31,90	32,34	32,59	32,70	32,70	32,65	32,59	32,55	32,61
		SE	0,06	0,27	0,14	0,09	0,09	0,10	0,09	0,09	0,10	0,10	0,12
	veränderte Sekretion	LSM	32,43	31,74	32,05	32,26	32,38	32,43	32,45	32,45	32,46	32,50	32,61
		SE	0,06	0,30	0,15	0,10	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,12
	Differenz		0,09	-0,52	-0,15	0,08	0,22	0,27	0,25	0,20	0,13	0,05	0,00
	p-value		0,130	0,059	0,276	0,425	0,045	0,010	0,005	0,015	0,122	0,541	0,988
IR-TempMax2	normale Sekretion	LSM	32,17	30,84	31,51	31,95	32,20	32,31	32,32	32,28	32,23	32,21	32,28
		SE	0,06	0,27	0,14	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,12
	veränderte Sekretion	LSM	32,07	31,28	31,61	31,83	31,97	32,04	32,07	32,08	32,11	32,17	32,29
		SE	0,06	0,29	0,15	0,10	0,10	0,11	0,10	0,09	0,09	0,10	0,12
	Differenz		0,10	-0,44	-0,10	0,12	0,24	0,28	0,26	0,20	0,12	0,05	-0,01
	p-value		0,091	0,094	0,449	0,252	0,024	0,006	0,003	0,012	0,120	0,566	0,934
IR-TempMax5	normale Sekretion	LSM	31,93	30,59	31,26	31,70	31,95	32,06	32,08	32,04	32,00	31,99	32,06
		SE	0,06	0,26	0,14	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,12
	veränderte Sekretion	LSM	31,83	30,98	31,33	31,57	31,71	31,79	31,83	31,86	31,89	31,95	32,07
		SE	0,06	0,29	0,15	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,10	0,12
	Differenz		0,10	-0,39	-0,07	0,13	0,24	0,27	0,24	0,18	0,11	0,03	-0,01
	p-value		0,098	0,127	0,578	0,193	0,021	0,006	0,005	0,019	0,168	0,663	0,893

**Tabelle A 22: Mittelwerte der IR-Kenngrößen an den Klauen der Messreihe 6 in Abhängigkeit vom Locomotionscore (LCS)**

LCS-Note	N	IR-TempMW		IR-TempMW_korr	
1	935	22,06	0,13	-0,29	0,13
2	1.008	21,67	0,12	-0,58	0,12
3	322	22,32	0,20	0,18	0,20
4	94	22,81	0,41	0,64	0,40
5	24	21,59	1,05	-0,65	0,83
		IR-TempMax		IR-TempMax_korr	
1	935	25,72	0,12	-0,03	0,12
2	1.008	25,28	0,11	-0,38	0,11
3	322	26,05	0,18	0,48	0,18
4	94	26,34	0,35	0,74	0,35
5	24	24,93	1,08	-0,72	0,95
		IR-TempMax2		IR-TempMax2_korr	
1	935	25,33	0,12	-0,06	0,12
2	1.008	24,90	0,11	-0,40	0,11
3	322	25,66	0,18	0,45	0,18
4	94	25,97	0,35	0,73	0,35
5	24	24,59	1,08	-0,70	0,93
		IR-TempMax5		IR-TempMax5_korr	
1	935	24,96	0,12	-0,08	0,12
2	1.008	24,53	0,11	-0,42	0,11
3	322	25,27	0,18	0,42	0,18
4	94	25,57	0,36	0,69	0,35
5	24	24,22	1,08	-0,72	0,93

**Tabelle A 23: Prüfung der Mittelwertdifferenzen der Oberflächentemperatur an den Klauen der Messreihe 6 in Abhängigkeit vom Locomotionscore (LCS) auf Signifikanz\***

IR-TempMW							IR-TempMW_korr						
	ANOVA p=0,008							ANOVA p=0,003					
LCS	(Mittelwert in °C)	5	2	1	3	4	LCS	(Mittelwert in K)	5	2	1	3	4
5	21,59	----	2,260	2,263	2,316	2,503	5	-0,65	----	2,243	2,245	2,298	2,484
2	21,67	nein	----	0,497	0,701	1,180	2	-0,58	nein	----	0,493	0,695	1,171
1	22,06	nein	nein	----	0,707	1,184	1	-0,29	nein	nein	----	0,702	1,175
3	22,32	nein	nein	nein	----	1,283	3	0,18	nein	ja	nein	----	1,273
4	22,81	nein	nein	nein	nein	----	4	0,64	nein	ja	nein	nein	----
IR-TempMax							IR-TempMax_korr						
	ANOVA p=0,001							ANOVA p=0,000					
	(Mittelwert in °C)	5	2	1	3	4		(Mittelwert in K)	5	2	1	3	4
5	24,93	----	2,044	2,046	2,094	2,263	5	-0,72	----	2,036	2,038	2,086	2,254
2	25,28	nein	----	0,449	0,634	1,067	2	-0,38	nein	----	0,448	0,631	1,063
1	25,72	nein	nein	----	0,639	1,071	1	-0,03	nein	nein	----	0,637	1,067
3	26,05	nein	ja	nein	----	1,160	3	0,48	nein	ja	nein	----	1,156
4	26,34	nein	nein	nein	nein	----	4	0,74	nein	ja	nein	nein	----
IR-TempMax2							IR-TempMax2_korr						
	ANOVA p=0,001							ANOVA p=0,000					
	(Mittelwert in °C)	5	2	1	3	4		(Mittelwert in K)	5	2	1	3	4
5	24,59	----	2,061	2,063	2,112	2,283	5	-0,70	----	2,053	2,055	2,103	2,273
2	24,90	nein	----	0,453	0,639	1,076	2	-0,40	nein	----	0,451	0,636	1,072
1	25,33	nein	nein	----	0,645	1,080	1	-0,06	nein	nein	----	0,642	1,075
3	25,66	nein	ja	nein	----	1,170	3	0,45	nein	ja	nein	----	1,165
4	25,97	nein	nein	nein	nein	----	4	0,73	nein	ja	nein	nein	----

Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

IR-TempMax5								IR-TempMax5_korr						
	ANOVA p=0,001							ANOVA p=0,001						
	(Mittelwert in °C)	5	2	1	3	4		(Mittelwert in K)	5	2	1	3	4	
5	24,22	----	2,086	2,087	2,137	2,309	5	-0,72	----	2,076	2,078	2,127	2,299	
2	24,53	nein	----	0,458	0,646	1,089	2	-0,42	nein	----	0,456	0,643	1,084	
1	24,96	nein	nein	----	0,652	1,093	1	-0,08	nein	nein	----	0,649	1,088	
3	25,27	nein	ja	nein	----	1,184	3	0,42	nein	ja	nein	----	1,178	
4	25,57	nein	nein	nein	nein	----	4	0,69	nein	ja	nein	nein	----	

\* dargestellt sind unter dem Ergebnis der ANOVA die kritischen Mittelwert-Differenzen zwischen Gruppenpaaren der LCS-Noten (rechts oben) und die Signifikanzwertung  $p < 0,05$  nach Bonferroni (links unten)



**Tabelle A 24: Mittelwerte der IR-Kenngrößen an den Klauen der Messreihe 2 in Abhängigkeit vom Befund**

	N	IR-TempMW		IR-TempMax	
		MW in °C	SE in °C	MW in °C	SE in °C
ohne Befund	33	24,07	0,39	28,11	0,39
mehrere Befunde	73	24,61	0,21	28,93	0,22
Druckstelle	11	24,21	0,85	28,19	0,74
Klauenrehe	11	24,32	0,57	28,65	0,65
Mortellaro	23	23,59	0,54	27,90	0,50
Rusterholzsches Sohlengeschwür	3	26,02	0,35	30,30	0,05
Wandläsion	5	23,22	0,63	28,44	0,50

**Tabelle A 25: Mittelwerte der IR-Kenngrößen an den Klauen der Messreihe 4 in Abhängigkeit vom Befund**

	N	IR-TempMW		IR-TempMax		IR-TempMax2		IR-TempMax5	
		MW in °C	SE in °C	MW in °C	SE in °C	MW in °C	SE in °C	MW in °C	SE in °C
ohne Befund	319	25,77	0,13	28,59	0,14	28,24	0,14	27,86	0,14
mehrere Befunde	15	27,99	0,55	30,45	0,57	30,19	0,56	29,89	0,55
Doppelsohle	4	27,07	0,84	29,72	0,61	29,39	0,53	29,11	0,51
Druckstelle	22	26,38	0,34	29,09	0,31	28,78	0,30	28,44	0,30
Mortellaro	66	27,53	0,20	30,16	0,23	29,85	0,22	29,52	0,22
Rusterholzsches Sohlengeschwür	25	27,14	0,37	29,83	0,36	29,54	0,35	29,20	0,36
Sohlengeschwür	4	26,19	0,57	28,89	0,85	28,73	0,84	28,45	0,77
Sohlenspitzen­geschwür	3	27,25	1,14	29,66	0,81	29,45	0,84	29,15	0,93
Wandläsion	6	26,63	0,63	28,89	0,91	28,74	0,88	28,51	0,85
Weiß­e Linie Defekt	4	25,46	0,93	27,31	0,99	27,15	0,99	26,95	1,00

**Tabelle A 26: LSMeans (LSM) mit Standardfehler (SE) und deren Differenzen (mit p-value) für ausgewählte IR-Kenngrößen an den Klauen der Messreihe 6**

IR-Kenngröße	Gruppe		Umgebungstemperatur												
			gesamt	13°C	14°C	15°C	16°C	17°C	18°C	19°C	20°C	21°C	22°C	23°C	24°C
IR-TempMW	keine Klauen- erkrankung	LSM	21,95	19,92	20,28	20,63	20,99	21,34	21,70	22,05	22,40	22,76	23,11	23,47	23,82
		SE	0,49	1,78	1,51	1,24	0,98	0,75	0,56	0,48	0,55	0,74	0,97	1,23	1,49
	mind. eine Neuerkrankung	LSM	22,37	19,81	20,26	20,71	21,15	21,60	22,05	22,50	22,95	23,39	23,84	24,29	24,74
		SE	0,37	1,54	1,30	1,06	0,83	0,62	0,44	0,36	0,44	0,61	0,83	1,05	1,29
	Differenz		-0,42	0,11	0,02	-0,07	-0,17	-0,26	-0,35	-0,45	-0,54	-0,63	-0,73	-0,82	-0,92
	p-value		0,345	0,902	0,979	0,915	0,774	0,600	0,431	0,319	0,275	0,273	0,287	0,306	0,325
IR-TempMax	keine Klauen- erkrankung	LSM	25,15	23,73	23,98	24,23	24,48	24,73	24,97	25,22	25,47	25,72	25,97	26,21	26,46
		SE	0,48	1,78	1,51	1,24	0,98	0,75	0,56	0,48	0,55	0,73	0,97	1,22	1,49
	mind. eine Neuerkrankung	LSM	25,63	23,45	23,83	24,21	24,60	24,98	25,36	25,74	26,12	26,50	26,89	27,27	27,65
		SE	0,37	1,53	1,29	1,05	0,83	0,61	0,44	0,36	0,43	0,61	0,82	1,05	1,28
	Differenz		-0,48	0,28	0,15	0,02	-0,12	-0,25	-0,39	-0,52	-0,65	-0,79	-0,92	-1,05	-1,19
	p-value		0,284	0,763	0,853	0,982	0,840	0,615	0,395	0,251	0,191	0,177	0,182	0,193	0,206
IR-TempMax2	keine Klauen- erkrankung	LSM	24,80	23,27	23,54	23,81	24,07	24,34	24,61	24,87	25,14	25,41	25,68	25,94	26,21
		SE	0,48	1,78	1,50	1,24	0,98	0,75	0,56	0,48	0,55	0,73	0,97	1,22	1,49
	mind. eine Neuerkrankung	LSM	25,30	23,03	23,43	23,82	24,22	24,62	25,01	25,41	25,81	26,21	26,60	27,00	27,40
		SE	0,37	1,53	1,29	1,05	0,83	0,61	0,44	0,36	0,43	0,61	0,82	1,05	1,28
	Differenz		-0,50	0,24	0,11	-0,02	-0,15	-0,28	-0,41	-0,54	-0,67	-0,80	-0,93	-1,06	-1,19
	p-value		0,264	0,795	0,889	0,980	0,801	0,579	0,368	0,235	0,181	0,171	0,178	0,191	0,205
IR-TempMax5	keine Klauen- erkrankung	LSM	24,48	22,86	23,15	23,43	23,71	24,00	24,28	24,56	24,85	25,13	25,42	25,70	25,98
		SE	0,49	1,78	1,51	1,24	0,98	0,75	0,56	0,48	0,55	0,74	0,97	1,22	1,49
	mind. eine Neuerkrankung	LSM	24,97	22,64	23,04	23,45	23,86	24,27	24,68	25,09	25,50	25,90	26,31	26,72	27,13
		SE	0,37	1,53	1,29	1,06	0,83	0,62	0,44	0,36	0,44	0,61	0,82	1,05	1,29
	Differenz		-0,49	0,23	0,10	-0,02	-0,15	-0,27	-0,40	-0,52	-0,65	-0,77	-0,90	-1,02	-1,15
	p-value		0,276	0,808	0,899	0,974	0,800	0,584	0,378	0,247	0,194	0,184	0,191	0,205	0,220

**Tabelle A 27: Mittelwerte der IR-Kenngrößen an der Schenkelfläche in Abhängigkeit von der Rektaltemperatur**

	Betrieb 1				Betrieb 3	
	Messreihe 1		Messreihe 3		Messreihe 5	
N gesamt	2.962		4.319		4.345	
N Gruppe 0	2.937		4.166		4.292	
N Gruppe 1	25		153		53	
Gruppe	MW	SE	MW	SE	MW	SE
	IR-TempMW in °C					
0	30,32	0,03	29,30	0,03	25,17	0,04
1	31,31	0,23	29,80	0,19	25,09	0,40
	IR-TempMW_korr in K					
0	0,05	0,02	0,02	0,02	-0,05	0,03
1	0,44	0,23	-0,18	0,14	-0,03	0,33
	IR-TempMax in °C					
0	32,40	0,02	31,52	0,02	27,75	0,03
1	33,46	0,15	31,99	0,15	27,62	0,34
	IR-TempMax_korr in K					
0	0,04	0,02	0,01	0,02	-0,03	0,03
1	0,58	0,16	-0,04	0,10	-0,08	0,29
	IR-TempMax2 in °C					
0	32,03	0,02	-	-	27,18	0,03
1	33,06	0,17	-	-	27,05	0,36
	IR-TempMax2_korr in K					
0	0,04	0,02	-	-	-0,03	0,03
1	0,57	0,16	-	-	-0,07	0,30
	IR-TempMax5 in °C					
0	31,81	0,02	30,83	0,03	26,88	0,03
1	32,85	0,17	31,22	0,16	26,75	0,36
	IR-TempMax5_korr in K					
0	0,04	0,02	0,00	0,02	-0,04	0,03
1	0,55	0,17	-0,16	0,12	-0,07	0,30